

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Milan Glumac**

Zagreb, 2016.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

Mentor:

Doc. dr. sc. Dragan Žeželj, dipl. ing.

Student:

Milan Glumac

Zagreb, 2016.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svome mentoru, doc. Dr. Sc. Draganu Žeželju i asistentu dr.sc. Zoranu Domitranu na pruženoj pomoći i ukazanom povjerenju.

Naročito se zahvaljujem se svojoj obitelji i prijateljima na podršci tijekom školovanja.

Milan Glumac



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
procesno-energetski, konstrukcijski, brodostrojarški i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Milan Glumac**

Mat. br.: **0035167688**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Konstrukcija uređaja za prijenos tereta kod bespilotnih letjelica**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Design of a device for delivery drone cargo manipulation**

Opis zadatka:

Normizacija u području konstrukcije bespilotnih letjelica (dronova) te povećana dostupnost potrebnih komponenata kod hobističkih izrada, kao i gotovih letjelica, otvaraju mogućnosti razvoja pojedinih dodatnih specijaliziranih naprava. Tendencija upotrebe lakih bespilotnih letjelica u svijetu ukazuje na sve veću primjenu u područjima od zabave, spasilačkih i istraživačkih namjena, vojne primjene, pa do dostave. Prijenos korisnog tereta bespilotnim letjelicama je samo jedno od mogućih primjena te iziskuje posebne uređaje koji nisu ponuđeni kao standardna oprema uz samu letjelicu, a vrlo su malo ili nikako zastupljeni na tržištu.

Potrebno je provesti konstrukcijsku razradu naprave za prihvata i prijenos tereta vodeći računa o mogućim varijantama ugradnje na komercijalno dostupne letjelice. Glavni zadatak konstrukcijskog rješenja jest omogućiti spuštanje tereta bez slijetanja letjelice. Za potrebe razrade treba koristiti sljedeće zahtjeve:

- najveća masa korisnog tereta iznosi 1 kg,
- visina spuštanja tereta treba biti najmanje 10 m i
- vrijeme spuštanja tereta iznosi najviše 10 sekundi.

3D model rješenja izraditi u nekoj od dostupnih CAD aplikacija, a tehničku dokumentaciju nenormiranih dijelova razraditi do razine radioničkih crteža. U konstrukciji koristiti dijelove i sklopove koje je moguće nabaviti na tržištu.

U radu navesti korištenu literaturu, norme kao i eventualnu pomoć.

Zadatak zadan:

10. ožujka 2016.

Rok predaje rada:

12. svibnja 2016.

Predviđeni datumi obrane:

18., 19. i 20. svibnja 2016.

Zadatak zadao:

doc. dr. sc. Dragan Žeželj

Predsjednica Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	II
POPIS SLIKA .....	IV
POPIS TABLICA.....	VI
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE .....	VII
POPIS OZNAKA .....	IX
SAŽETAK.....	XIII
SUMMARY .....	XIV
1. UVOD.....	1
2. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE BESPILOTNIH LETJELICA .....	4
2.1. Upravljanje bespilotnim letjelicama .....	4
2.2. Podjela bespilotnih letjelica prema konstrukcijskoj izvedbi.....	4
2.3. Konstrukcijski elementi multirotor bespilotnih letjelica.....	6
2.3.1. Nosiva konstrukcija .....	6
2.3.2. Elektromotori za pogon letjelice .....	7
2.3.3. Kontroleri brzine .....	7
2.3.4. Propeleri .....	8
2.3.5. Upravljačko sklopovlje .....	8
2.3.6. Radio prijemnik .....	9
2.3.7. Baterija .....	10
3. ANALIZA POSTOJEĆIH RJEŠENJA .....	11
3.1. DHL parcelcopter.....	11
3.2. Matternet ONE .....	12
3.3. Amazon Prime Air .....	13
3.4. Flirtey .....	14
4. PREGLED MODELA BESPILOTNIH LETJELICA PRIGODNIH ZA UPOTREBU S UREĐAJEM I NJIHOVIH PRIKLJUČNIH MJERA .....	15
4.1. Prikadni modeli bespilotnih letjelica .....	15
4.2. Priključne mjere prikladnih modela letjelica .....	15
4.2.1. Priključne mjere za letjelice firme DJI .....	15
4.2.2. Priključne mjere za letjelice firme FreeFly Systems .....	16
4.2.3. Priključne mjere za letjelice firme SteadiDrone .....	17
5. KONSTRUKCIJSKA RAZRADA.....	18
5.1. Definiranje ciljeva.....	19
5.2. Funkcije proizvoda.....	21
5.3. Generiranje koncepata.....	23
6. KONCEPTI.....	25
6.1. Koncept A .....	25
6.2. Koncept B .....	26
6.3. Vrednovanje i odabir koncepta .....	27

7. OPIS RADA ODABRANOG KONCEPTA .....	29
8. PRORAČUN MEHANIZMA I NOSIVE KONSTRUKCIJE .....	31
8.1. Proračun mehanizma za zadržavanje i spuštanje tereta .....	31
8.1.1. Dimenzioniranje užeta za podizanje .....	31
8.1.2. Dimenzioniranje bubnja za namatanje užeta .....	32
8.1.2.1. Odabir promjera bubnja .....	32
8.1.2.2. Proračun čvrstoće stijenke bubnja .....	33
8.1.2.3. Kontrola progiba bubnja .....	35
8.1.2.4. Veza čelne ploče s bubnjem i glavinom .....	35
8.1.3. Odabir elektromotora .....	37
8.1.4. Odabir reduktora .....	39
8.1.5. Odabir kočnice za zadržavanje .....	41
8.1.6. Odabir spojke .....	42
8.1.7. Proračun vratila .....	44
8.1.7.1. Proračun reakcija u ležajevima bubnja i vratila .....	44
8.1.7.2. Kontrola naprezanja u kritičnim presjecima vratila .....	46
8.1.8. Proračun glavine .....	49
8.2. Proračun mehanizma za odsijecanje užeta .....	51
8.2.1. Kontrola naprezanja vodilice užeta .....	52
8.2.2. Kontrola naprezanja nosača aktuatora .....	54
9. PRIKAZ 3D MODELA .....	55
10. ZAKLJUČAK .....	58
LITERATURA .....	59
PRILOZI .....	60

## POPIS SLIKA

Slika 1.	MQ-1 Predator, bespilotna letjelica za borbene zadaće .....	1
Slika 2.	Zaprašivanje usjeva bespilotnom letjelicom .....	2
Slika 3.	Bespilotna letjelica za nadzor prometa.....	2
Slika 4.	AAI Aerosonde, prva bespilotna letjelica koja je samostalno preletjela atlantik....	4
Slika 5.	Yamaha R-MAX .....	5
Slika 6.	a) quadcopter, b) hexacopter, c) octocopter .....	5
Slika 7.	Okvir letjelice s 4 konzolna nosača .....	6
Slika 8.	Pogonski elektromotor .....	7
Slika 9.	Kontroler brzine elektromotora .....	8
Slika 10.	Par propelera za oba smjera vrtnje .....	8
Slika 11.	Upravljačko sklopovlje letjelice .....	9
Slika 12.	Radio prijemnik .....	9
Slika 13.	Baterija letjelice.....	10
Slika 14.	DHL parcelcopter .....	11
Slika 15.	Matternet ONE .....	12
Slika 16.	Amazon Prime Air.....	13
Slika 17.	Dostavna bespilotna letjelica Flirtey .....	14
Slika 18.	Priključne mjere za DJI letjelice .....	16
Slika 19.	Priključne mjere za FreeFly Systems letjelice .....	16
Slika 20.	Priključne mjere za SteadiDrone letjelice .....	17
Slika 21.	Funkcijska dekompozicija proizvoda.....	22
Slika 22.	Skica koncepta A ovješnog na letjelici.....	25
Slika 23.	Smještaj pogonskog mehanizma koncepta A .....	26
Slika 24.	Skica koncepta B ovješnog na letjelici .....	27
Slika 25.	Shematski prikaz mehanizma odabranog koncepta.....	29
Slika 26.	Sila u užetu .....	31
Slika 27.	Detalj žlijeba.....	32
Slika 28.	Odnos duljine i promjera bubnja prema izrazu (5).....	33
Slika 29.	Dimenzije bubnja .....	33
Slika 30.	Mjere ležaja 61813-2RZ.....	34
Slika 31.	Naprezanje elementa stijenke bubnja .....	34
Slika 32.	Spoj čelone ploče bubnja.....	36
Slika 33.	Glavne mjere elektromotora .....	37
Slika 34.	Glavne mjere reduktora .....	39
Slika 35.	Položaj radne točke motora FAULHABER 2250BX4S na n-M dijagramu [7]....	41
Slika 36.	Glavne mjere kočnice BFK-457-03 .....	42
Slika 37.	Glavne mjere odabrane spojke .....	43
Slika 38.	Uležištenje bubnja i vratila.....	44
Slika 39.	Proračunski model opterećenja bubnja i vratila .....	44
Slika 40.	Podjela sklopa na statički određene cjeline .....	45
Slika 41.	Opterećenje vratila .....	47
Slika 42.	Glavina .....	50
Slika 43.	Opterećenje mehanizma za odsijecanje užeta .....	51
Slika 44.	Opterećenje vodilice.....	52
Slika 45.	Prikaz uređaja u djelomičnom presjeku .....	55

---

Slika 46.	Prikaz uređaja s prednje strane .....	56
Slika 47.	Prikaz uređaja s bočne strane .....	56
Slika 48.	Prikaz uređaja ovješnog na letjelicu DJI S1000 .....	57
Slika 49.	Detalj spoja uređaja na montažnu ploču letjelice .....	57

## POPIS TABLICA

Tabela 1.	Modeli letjelica prikladni za upotrebu s uređajem .....	15
Tabela 2.	Tehnički upitnik za definiranje cilja razvoja proizvoda .....	18
Tabela 3.	Definicija cilja za razvoj proizvoda.....	20
Tabela 4.	Glavne potrebe korisnika.....	21
Tabela 5.	Morfološka matrica.....	23
Tabela 6.	Vrednovanje koncepata .....	27
Tabela 7.	Najmanji potreban broj vijaka i pritisak podloške.....	36
Tabela 8.	Karakteristike elektromotora pri nazivnom naponu .....	38
Tabela 9.	Tehničke karakteristike reduktora AK26.....	40
Tabela 10.	Tehničke karakteristike odabrane spojke.....	43



**POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE**

SK-0000-001	Uređaj za prijenos tereta
SK-0101-001	Pogonski sklop
SK-0201-001	Kućište gornji dio
IK-3001-001	Nosivi okvir
IK-3001-002	Držac poklopca B
IK-3001-003	Ovjesna ploča
SK-0201-002	Sklop bubnja
IK-3002-001	Bubanj
IK-0201-012	Vratilo
IK-0201-013	Odstojnik vrtila
IK-0201-014	Ležajna čaša
IK-0201-016	Poklopac B
IK-0201-017	Pogonska glavina
IK-0201-018	Pogonska ploča
SK-0201-020	Sklop spojnog prstena B
IK-3020-001	Spojni prsten B
IK-0201-021	Ploča motora
IK-0201-022	Konzolni oslonac
IK-0201-023	Odstojnik ležaja
SK-0201-024	Sklop spojnog prstena A
IK-3024-001	Spojni prsten A
SK-0201-025	Sklop poklopca A
IK-3025-001	Poklopac A
IK-0201-026	Nosač elektronike
SK-0201-044	Sklop graničnika
IK-3044-001	Graničnik
SK-0101-002	Modul za prihvat tereta
SK-0202-001	Teretni okvir-S
IK-0301-001	Teretni okvir
IK-0301-002	Ležajna čahura

SK-0202-002	Nosač aktuatora
IK-0302-001	Kvadratna cijev
IK-0302-002	Vilica nosača
IK-0202-004	Kutni profil K/D
SK-0202-007	Vodilica
IK-0307-001	Šipka ø8
IK-0307-002	Vilica vodicice
IK-0307-003	Spojnicica vodicice
IK-0307-004	Rukavac
SK-0202-008	Koljeno
IK-0308-002	Spojnicica koljena

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$a_{\max,v}$	$\text{mm/s}^2$	Vertikalna komponenta ubrzanja
$A_{P,i}$	$\text{mm}^2$	Površina podloške za tip vijka $i$
$A_{V,j}$	$\text{mm}^2$	Površina poprečnog presjeka vijka
$b_1$	mm	Širina utora za pero 1
$b_2$	mm	Širina utora za pero 2
$c_u$	$\text{mmN}^{-1/2}$	Koefecijent opteretivosti vlaknastog užeta
$d_1$	mm	Promjer segmenta 1
$d_2$	mm	Promjer segmenta 2
$d_3$	mm	Promjer segmenta 3
$d_4$	mm	Promjer segmenta 4
$D_B$	mm	Promjer bubnja
$D_{L,V}$	mm	Vanjski promjer ležaja
$D_t$	mm	Tjemeni promjer žlijeba za uže
$d_{t1}$	mm	Računski promjer presjeka vratila A-A za torziju
$d_{t2}$	mm	Računski promjer presjeka vratila B-B za torziju
$d_u$	mm	Promjer užeta
$D_{V,i}$	mm	Promjer razmještaja vijaka za vezu $i$
$E$	MPa	Youngov modul elastičnosti
$F_A'$	N	Parcijalna komponenta reakcije oslonca A
$F_{BL}'$	N	Parcijalna komponenta reakcije oslonca B s lijeve strane oslonca
$F_C'$	N	Parcijalna komponenta reakcije oslonca C
$F_{Cr}$	N	Radijalna komponenta reakcije oslonca C
$F_{Cx}$	N	Aksijalna komponenta reakcije oslonca C
$F_N$	N	Normalna sila za ostvarivanje sile trenja
$F_{N,\max}$	N	Najveća sila kojom je dopušteno opteretiti vijak
$F_u$	N	Sila u užetu
$g$	$\text{mm/s}^2$	Gravitacijsko ubrzanje
$H$	mm	Visina spuštanja
$i$	-	Prijenosni odnos reduktora
$I_0$	A	Struja praznog hoda
$I_1$	$\text{mm}^4$	Moment tromosti površine 1
$I_2$	$\text{mm}^4$	Moment tromosti površine 2

$I_k$	A	Jakost struje potrebne pri kočenju elektromotorom
$I_y$	mm <sup>4</sup>	Moment tromosti presjeka oko osi y
$k_E$	mV/[o/min]	Konstanta povratne elektomagnetske sile
$k_M$	mNm/A	Konstanta momenta elektromotora
$l_1$	mm	Duljina segmenta 1
$l_2$	mm	Duljina segmenta 2
$l_B$	mm	Duljina bubnja
$l_n$	mm	Duljina narezanog dijela bubnja za jedan navoj
$l_{t1}$	mm	Nosiva duljina pera 1
$l_{t2}$	mm	Nosiva duljina pera 2
$M_0$	mNm	Moment statičkog trenja elektromotora
$M_A$	Nmm	Unutarnji moment savijanja u točki A
$M_B$	Nmm	Moment torzije bubnja
$M_B$	Nmm	Unutarnji moment savijanja u točki B
$M_C$	Nmm	Unutarnji moment savijanja u točki C
$M_{EM,k}$	mNm	Kočni moment elektromotora
$M_{f,max}$	Nmm	Najveći moment savijanja
$M_G$	mNm	Moment torzije glavine
$M_G$	Nmm	Moment uklještenja na spoju glavine
$M_H$	mNm	Prekretni moment elektromotora
$M_K$	mNm	Moment kočnice pri zadržavanju
$M_{pot,K}$	mNm	Potreban moment kočnice
$M_{S,din}$	mNm	Dinamički moment torzije spojke
$M_{S,din,i}$	mNm	Maksimalni istosmjerni dinamički moment spojke
$M_{s,din,n}$	mNm	Maksimalni naizmjenični dinamički moment spojke
$M_{S,stat}$	mNm	Maksimalni statički moment spojke
$M_t$	Nmm	Moment torzije vratila
$m_{uk}$	kg	Ukupna ovješena masa
$M_v$	mNm/[o/min]	Moment dinamičkog trenja elektromotora
$n_0$	o/min	Broj okretaja pri praznom hodu elektromotora
$n_B$	o/min	Broj okretaja bubnja
$n_{EM}$	o/min	Broj okretaja elektromotora
$n_{S,max}$	o/min	Maksimalna dopuštena brzina vrtnje spojke
$N_{V,B}$	-	Broj vijaka za vijčanu vezu bubnja
$N_{V,G}$	-	Broj vijaka za vijčanu vezu glavine
$N_{V,i}$	-	Odabran broj vijaka
$N_{V,min,i}$	-	Najmanji potreban broj vijaka za tip vijaka $i$

$P_{EM}$	W	Snaga elektromotora
$p_F$	N/mm <sup>2</sup>	Tlak na dosjedu glavine uslijed radijalne komponente reakcije
$p_{f,max}$	N/mm <sup>2</sup>	Tlak na dosjedu glavine uslijed momenta uklještenja
$P_I$	W	Orientacijska vrijednost snage za izbor elektromotora
$p_{max}$	N/mm <sup>2</sup>	Najveći tlak na dosjedu glavine
$p_{P,B}$	N/mm <sup>2</sup>	Pritisak podloške za vijčanu vezu bubnja
$p_{P,G}$	N/mm <sup>2</sup>	Pritisak podloške za vijčanu vezu glavine
$p_{P,i}$	N/mm <sup>2</sup>	Pritisak podloške vijka za tip vijka $i$
$R$	$\Omega$	Terminalni otpor između dvije faze elektromotora
$R_m$	N/mm <sup>2</sup>	Vlačna čvrstoća
$R_Z$	mm	Polumjer zaobljenja žljeba za uže
$s$	mm	Debljina stijenke bubnja
$S$	-	Faktor sigurnosti
$t$	mm	Korak navoja žlijeba za uže
$t_p$	s	Vrijeme spuštanja tereta
$U_{Bat}$	V	Napon baterije
$U_{K,min}$	V	Najmanji napon potreban za ukapčanje kočnice
$U_{K,N}$	V	Nominalni napon potreban za ukapčanje kočnice
$U_{pot,k}$	V	Napon potreban pri kočenju elektromotorom
$v_{sr}$	ms <sup>-1</sup>	Srednja brzina spuštanja tereta
$W_{G,min}$	mm <sup>3</sup>	Moment otpora kritičnog presjeka glavine
$w_{max}$	mm	Najveći progib bubnja
$W_{p,A-A}$	mm <sup>3</sup>	Polarni moment otpora presjeka A-A
$W_{p,B-B}$	mm <sup>3</sup>	Polarni moment otpora presjeka B-B
$W_{p1}$	mm <sup>3</sup>	Polarni moment otpora na prijelazu segmenata 1 i 2
$W_{p2}$	mm <sup>3</sup>	Polarni moment otpora na prijelazu segmenata 2 i 3
$W_{r,B-B}$	mm <sup>3</sup>	Aksijalni moment otpora presjeka B-B
$x_{a,dop}$	mm	Kompenzacija aksijalnog pomaka
$x_{p,dop}$	mm	Dopušteno odstupanje paralelnosti osi vratila
$\alpha_0$	-	Faktor vrste opterećenja
$\beta_{kf}$	-	Faktor zareznog djelovanja za fleksijsko opterećenje
$\beta_{kt}$	-	Faktor zareznog djelovanja za torzijsko opterećenje
$\delta_{dop}$	°	Dopušteno kutno odstupanje osi vratila
$\eta_{max}$	%	Najveći stupanj učinkovitosti elektromotora
$\mu_t$	-	Faktor trenja
$\pi$	-	Ludolfov broj
$\rho$	mm	Radius zaobljenja na prijelazu segmenta vratila

---

$\sigma_1$	N/mm <sup>2</sup>	Glavno naprezanje
$\sigma_3$	N/mm <sup>2</sup>	Glavno naprezanje
$\sigma_t$	N/mm <sup>2</sup>	Najmanja granica tečenja materijala vijka
$\sigma_{V.dop}$	N/mm <sup>2</sup>	Dopušteno opterećenje vijka
$\sigma_x$	N/mm <sup>2</sup>	Normalno naprezanje
$\sigma_\varphi$	N/mm <sup>2</sup>	Cirkularno naprezanje
$\tau_{1,2}$	N/mm <sup>2</sup>	Torzijsko naprezanje na prijelazu segmenata 1 i 2
$\tau_{2,3}$	N/mm <sup>2</sup>	Torzijsko naprezanje na prijelazu segmenata 2 i 3
$\tau_{A-A}$	N/mm <sup>2</sup>	Torzijsko naprezanje presjeka A-A
$\tau_{B-B}$	N/mm <sup>2</sup>	Torzijsko naprezanje presjeka B-B

## SAŽETAK

U ovom diplomskom radu projektiran je i konstrukcijski razrađen uređaj za prijenos tereta kod bespilotnih letjelica.

Proračun obuhvaća sve stavke važne za odabir konstrukcijskih elemenata pogonskog mehanizma te sve kritične presjeke nestandardnih dijelova konstrukcije. Svi tehnički crteži kao i 3D model konstrukcije izrađeni su pomoću softverskog paketa Pro/ENGINEER.

Osnovna ideja za razvoj ovog uređaja jest omogućiti upotrebu već postojećih, komercijalno dostupnih modela bespilotnih letjelica za dostavne svrhe, a bez potrebe za prethodnom modifikacijom same letjelice.

Glavna funkcija uređaja je omogućiti prihvat i dostavu tereta bez potrebe za slijetanjem letjelice. Time se otklanja rizik nanošenja tjelesnih ozljeda i nastanka materijalne štete inače prisutan pri slijetanju, pojednostavljuje se zadaća operatera te omogućuje dostava tereta i u okolnostima koje ne dozvoljavaju slijetanje letjelice.

Ključne riječi: bespilotna letjelica, vitlo, dron, dostava

## SUMMARY

This paper depicts the design process and refinement of a cargo delivery attachment for UAVs.

The technical calculations encompass all the key points relevant for selection of mechanism components as well as stress control calculations of all non-standardized parts. The technical drawings and a 3D model of the device were made using Pro/ENGINEER software package.

The basic idea behind this device is to enable the usage of existing, commercially available UAVs as delivery systems, without the need for any modifications of the craft itself.

The main function of the device is to enable cargo delivery without landing the craft, thereby eliminating the risks of injury and material damage usually associated with landing, reducing the load on the operator and enabling cargo delivery in circumstances which do not permit landing the craft.

Key words: UAV, drone, winch, delivery



## 1. UVOD

Bespilotna letjelica je tip letjelice bez posade. Prva zabilježena upotreba letjelica koje odgovaraju ovoj definiciji zabilježena je još davne 1849. Godine, kada ih Austro-Ugarska koristi u ratu protiv tada još nezavisne Venecije. Bili su to samo jednostavni baloni na vruć zrak, nošeni vjetrom te je svaki nosio po jednu bombu. Tehnološki skokovi u 20. stoljeću omogućili su razvoj sofisticiranijih letjelice (koje bolje odgovaraju danoj definiciji) prikladnih za širok spektar različitih zadaća, od borbeno izviđačkih iz kojih vuku korijene svog postanka, topografije, filmske industrije, zaštite ugroženih životinjskih vrsta itd.. Upravo ih njihova glavna odlika – odsudstvo ljudske posade – čini jedinstveno prikladnima za rad u područjima visokog rizika poput bojišnica, zona kontaminacije, minskih polja, istraživanju uragana, aktivnih vulkana isl., te za zadaće koje su zbog dugotrajnosti i repetitivnosti zamorne za (ljudskog) pilota te ih je jednostavnije automatizirati, poput zaprašivanja usjeva, prikupljanja meteoroloških i topografskih podataka, nadzora područja od posebnog interesa (državne granice, rezervati, požarišta...).



**Slika 1. MQ-1 Predator, bespilotna letjelica za borbene zadaće**

Zahvaljujući činjenici da ne moraju sadržavati kokpit i komplicirano upravljačko sučelje sa brojnim instrumentima potrebnim pilotu, bespilotne letjelice mogu biti znatno kompaktnije, učinkovitije i jeftinije u odnosu na konvencionalno upravljane letjelice. Uzimajući u obzir i činjenicu da je obuka pilota vrlo skupa i dugotrajna, za očekivati je da će u skoroj budućnosti

bespilotne letjelice ostvariti paritet ili čak u određenoj mjeri potisnuti konvencionalno upravljane letjelice iz upotrebe.



**Slika 2.    Zprašivanje usjeva bespilotnom letjelicom**

Tijekom ovog desetljeća tržište je prepoznalo potencijal ovih letjelica kao dostavnog sredstva te je nekolicina dostavnih poduzeća pokrenulo vlastite razvojne projekte od kojih su neki već u fazi testiranja (DHL, Amazon). Cilj ovog rada je razvoj uređaja za prijenos tereta bespilotnim letjelicama. Uređaj je zamišljen kao funkcionalan dodatak, predviđen za upotrebu s već postojećim modelima letjelica multirotor izvedbe, nosivosti 5 kg ili više.



**Slika 3.    Bespilotna letjelica za nadzor prometa**

Razvoj ovakvog uređaja kao dodatka ima nekoliko prednosti:

- **Manji trošak razvoja** – nije potrebno razvijati i novu letnu platformu
- **Veću fleksibilnost** – ponudom uređaja kao dodatka pruža se korisnicima mogućnost izbora letne platforma prema njihovim potrebama i financijskim mogućnostima
- **Širu ciljanu skupinu korisnika** – budući da obuhvaća potencijalne korisnike koji već posjeduju bespilotnu letjelicu ili ju trebaju koristiti i u druge svrhe

Jedan od glavnih uočenih nedostataka većine postojećih rješenja je potreba za slijetanjem letjelice prilikom dostave tereta. Prilikom slijetanja može doći do kontakta ljudi, životinja ili materijalne imovine s propelerima letjelice, što može prouzrokovati tjelesne ozljede, materijalnu štetu a predstavlja rizik i za samu letjelicu. Uz navedene opasnosti, slijetanje povećava i rizik krađe letjelice. Radi toga je glavna smjernica zadatka upravo razvoj uređaja koji bi omogućio dostavu tereta bez potrebe za slijetanjem letjelice.

## 2. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE BESPILOTNIH LETJELICA

### 2.1. Upravljanje bespilotnim letjelicama

Letjelica može biti upravljana na jedan od sljedećih načina:

- Daljinski, pomoću daljinskog upravljača, uz prijenos naredbi najčešće upotrebom radio veze
- Programski, u kom slučaju letjelica leti prema unaprijed određenom (programiranom) planu leta
- Autonomno, pomoću složenih autonomnih dinamičkih sustava

### 2.2. Podjela bespilotnih letjelica prema konstrukcijskoj izvedbi

#### a) Letjelice s fiksnim krilima (avioni)

Ovakav tip letjelice ostvaruje uzgon strujanjem zraka preko krila. Strujanje je omogućeno kretanjem letjelice prema naprijed posredstvom pogonskog motora.

Upravljanje letjelicom vrši se mjenjanjem nagiba upravljačkih površina (predkrilca, zakrilca, eleroni) i potiska motora. Prednost izvedbe s fiksnim krilima pred rotokopterskim izvedbama jest u većem doletu letjelice, većoj brzini i manjem utrošku energije za pogon.



**Slika 4.** AAI Aerosonde, prva bespilotna letjelica koja je samostalno preletjela atlantik

#### b) Helikopteri

Helikopter je vrsta zrakoplova koja uzgon ostvaruje pomoću rotora. Helikopter se razlikuje od aviona po tome što se njegova uzgonska "krila" (odnosno krakovi rotora) kreću (rotiraju) neovisno od kretanja same letjelice, dok kod aviona uzgon na krilima nastaje kretanjem cijele letjelice kroz zrak. Upravljanje se vrši cikličkom promjenom

nagiba krakova glavnog rotora, te izmjenom potiska pomoćnog (repnog) rotora. Moguće su i izvedbe bez pomoćnog rotora, u kom slučaju helikopter ima dva glavna rotora u koaksijalnoj, tandem ili „side by side“ izvedbi. Prednost helikoptera jest u mogućnosti vertikalnog polijetanja i slijetanja, te mogućnosti lebdenja na mjestu.



Slika 5. Yamaha R-MAX

### c) Multirotor letjelice

Multirotor letjelice imaju iste prednosti i mane kao i helikopteri, a po načinu upravljanja razlikuju se po tome što je nagib lopatica njihovih rotora fiksiran, a samo upravljanje se ostvaruje kontrolom potiska svakog motora zasebno (kao na primjer nagnjanje unaprijed povećanjem potiska stražnjih motora uz istovremeno smanjenje potiska prednjih motora).



Slika 6. a) quadcopter, b) hexacopter, c) octocopter

## 2.3. Konstrukcijski elementi multirotor bespilotnih letjelica

Tipična multirotor letjelica sadrži 7 glavnih konstrukcijskih elemenata:

- a) Nosiva konstrukcija ili okvir
- b) Elektromotori za pogon letjelice
- c) Kontroleri brzine (jedan po motoru)
- d) Propeleri (jedan po motoru)
- e) Upravljačko sklopovlje
- f) Radio prijemnik
- g) Baterija

### 2.3.1. Nosiva konstrukcija

Nosiva konstrukcija ili okvir predstavlja glavni dio letjelice te služi kao platforma za montažu svih ostalih komponenti osim propelera. Sačinjena je od tri ili više konzolnih nosača spojenih na jedan središnji dio. Elementi okvira uobičajeno se izrađuju od aluminijske i kompozitnih materijala na bazi ugljičnih i staklenih vlakana.



Slika 7. Okvir letjelice s 4 konzolna nosača

Konzolni nosači služe za montažu pogonskih elektromotora. Uobičajeno je da jedan konzolni nosač nosi po jedan ili dva elektromotora, u kom slučaju su montirani na suprotnim stranama nosača (jedan iznad, drugi ispod). Izvedba sa dva motora po nosaču primjenjuje se za letjelice

veće snage. Raspored i relativna duljina nosača, uz odabir elektromotora, imaju bitan utjecaj na letne karakteristike letjelice.

Središnji dio letjelice služi kao platforma za montažu upravljačke elektronike, baterije, radio odašiljača/prijemnika te može poslužiti i za montažu dodatne opreme (video kamera, fotoaparat, LiDAR, stabilizacijski uređaji isl.).

### **2.3.2. Elektromotori za pogon letjelice**

Budući da se multirotor letjelice upravljaju balansiranjem potiska svakog individualnog motora, za njihov pogon koriste se isključivo električni istosmjerni motori. Radi jednostavnijeg upravljanja najčešće se koristi paran broj motora, iako je moguća konstrukcija i sa neparnim brojem motora. Najmanji broj motora koji letjelica može sadržavati sa aspekta upravljivosti je tri. Zbog povoljnog odnosa snage i mase uobičajeno se koriste elektromotori bez četkica.

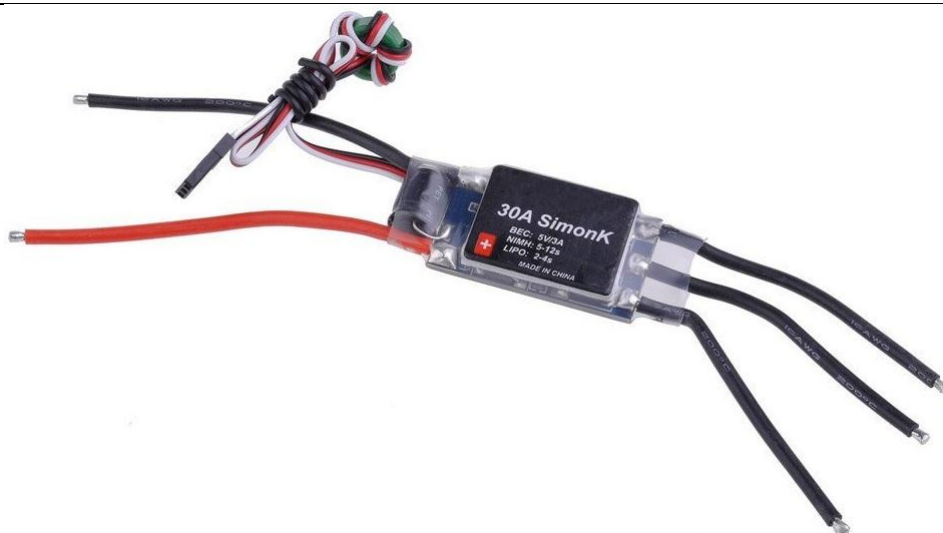


**Slika 8. Pogonski elektromotor**

### **2.3.3. Kontroleri brzine**

Letjelice koje za pogon koriste elektromotore bez četkica moraju imati i po jedan kontroler brzine za svaki motor. Kontroler povezuje motor sa izvorom istosmjerne električne struje i upravljačkim sklopovljem te vrši funkciju elektroničkog komutatora.





**Slika 9. Kontroler brzine elektromotora**

#### **2.3.4. Propeleri**

Propeleri se montiraju direktno na vratila elektromotora. Da bi letjelica bila upravljiva plovina motora mora imati suprotan smjer vrtnje, te se shodno tome propeleri izrađuju za svaki smjer vrtnje posebno. Izrađuju se od ugljičnih kompozita, polimera ili drveta.

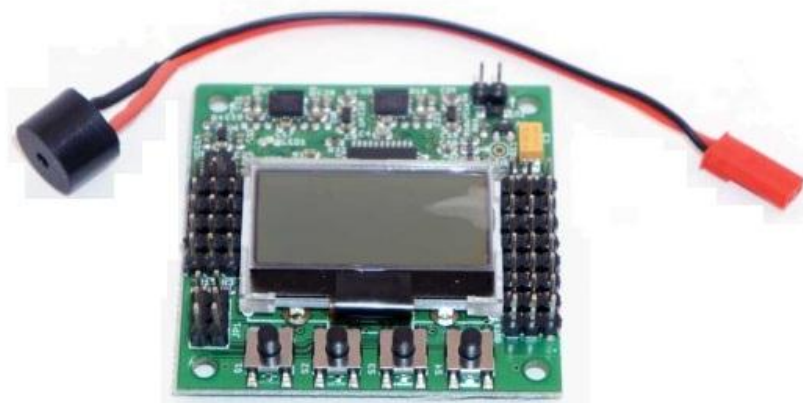


**Slika 10. Par propelera za oba smjera vrtnje**

#### **2.3.5. Upravljačko sklopovlje**



Upravljačko sklopovlje je „mozak“ svake multirotor letjelice. Sačinjeno je od logičkog sklopovlja i senzora. Logičko sklopovlje prema podacima koje dobiva od senzora te naredbama operatera upravlja pogonskim motorima. Osnovni paket senzora sadržava žiroskope i akcelerometre, no može uključivati i GPS prijemnik, video senzore isl.



Slika 11. Upravljačko sklopovlje letjelice

### 2.3.6. Radio prijemnik

Da bi mogla primiti naredbe operatera letjelica mora biti opremljena radio prijemnikom, dok operater mora imati na raspolaganju upravljač s odgovarajućim radio odašiljačem. S obzirom da se letjelicom upravlja pomoću tri stupnja slobode (*pitch*, *roll*, *yaw*) i potiskom, radio veza mora imati najmanje četiri zasebna kanala.



Slika 12. Radio prijemnik

### 2.3.7. Baterija

Baterija električnom energijom opskrbljuje motore i sklopovlje letjelice. Izrađuju se u više različitih oblika, veličina i konfiguracija. Najčešće se koriste baterije litij-polimer tipa (LiPo, Li-Poly). Sastoje se od dva do šest serijski spojenih članaka. Budući da je napon pojedinog članka je 3,7V, napon baterije može biti od 7,4V za bateriju sa samo dva članka, do 22,2V za bateriju sa šest članaka.



Slika 13. Baterija letjelice

### 3. ANALIZA POSTOJEĆIH RJEŠENJA

Potencijal bespilotnih letjelica kao dostavnog sredstva prepoznat je relativno kasno u odnosu na „staž“ koji već imaju u drugim područjima primjene. Iz ovog razloga do sada je razvijeno tek nekoliko sustava specijaliziranih za prijenos tereta. Vodeću ulogu u njihovom razvoju su velika dostavna poduzeća poput DHL-a i Amazon-a a uz njih je pokrenuta i nekolicina manjih start-up projekata. Zbog vrlo restriktivnih važećih zakonskih normi nijedno do sada razvijeno rješenje nije uvedeno u opću upotrebu, no izvjesno je da će uslijed rastućeg interesa u skorije vrijeme doći do prilagodbe važećih zakonskih normi odnosno do svrstavanja letjelica za dostavu u zasebnu zakonsku kategoriju.

Do sada je razvijen manji broj sustava za dostavu paketa pomoću bespilotnih letjelica, od kojih je nekolicina u ograničenoj uporabi. radi raznih zakonskih ograničenja).

#### 3.1. DHL parcelcopter

DHL-ov parcelcopter jedan je jedan od ukupno samo dva dostavna sustava u operativnoj uporabi, iako u za sada ograničenoj mjeri. Koristi se isključivo za dostavu paketa na otok Juist u Sjevernom Moru (otok je od kopna udaljen 12 km). Letjelica je u fazi leta potpuno autonomna, uključujući i slijetanje (nema nikakvog imputa od strane pilota). Paket je smješten u neodvajajućem spremniku, a utovar i istovar paketa vrše se ručno.



Slika 14. DHL parcelcopter

---

**Prednosti:**

- Autonoman let

**Nedostatci:**

- Za dostavu paketa nužno je slijetanje letjelice
- Nužan je ručni istovar paketa
- Nezaštićeni propeleri letjelice

### 3.2. Matternet ONE

Matternet je kalifornijski proizvođač dostavnih bespilotnih letjelica. Po načinu rada Matternet ONE vrlo je sličan DHL parcelcopteru – let je autonoman a utovar i istovar obavljaju se ručno, nakon slijetanja. Trenutno je u fazi testiranja za potrebe Švicarske pošte. Može dostaviti teret mase do 1 kg u radiusu 10 km. Kao zaštitnu mjeru letjelica ima ugrađen sigurnosni padobran, a propeleri su djelomice zaštićeni sigurnosnim okvirom.



**Slika 15. Matternet ONE**

**Prednosti:**

- Autonoman let
- Ugrađen sigurnosni padobran

**Nedostatci:**

- Za dostavu paketa nužno je slijetanje letjelice
- Nužan je ručni istovar paketa

### 3.3. Amazon Prime Air

Amazon također razvija svoj sustav dostave paketa bespilotnim letjelicama, no za razliku od DHL-ove i Matternetove inačice utovar i istovar paketa vrše se automatski (spremnik se nakon slijetanja odvaja od letjelice). Ako uđe u uporabu, sustav bi trebao omogućiti dostavu paketa mase do 2,26 kg (86% paketa koje Amazon dostavlja spada u ovu masenu kategoriju) u radiusu od 16 km. Najveću prepreku za operativnu uporabu ovog sustava predstavlja stroga zakonska regulativa.



Slika 16. Amazon Prime Air

Prednosti:

- Autonoman let
- Automatiziran istovar paketa

Nedostatci:

- Za dostavu paketa nužno je slijetanje letjelice

### 3.4. Flirtey

Flirtey je australski proizvođač bespilotnih letelica. Flirteyev dostavni sustav u operativnoj je uporabi za dostavu lijekova na zabačene lokacije u okrugu Wise savezne države Virginie. Posebnost ovog sustava je u načinu istovara paketa – istovar se vrši spuštanjem paketa vitlom uz samostalno odvajanje paketa od vitla po spuštanju na tlo. Ovime je omogućena dostava paketa bez potrebe za slijetanjem letjelice, čime se izbjegava opasnost koju inače pri slijetanju za korisnika predstavljaju propeleri letjelice, te se smanjuje i rizik oštećenja i/ili krađe same letjelice.



**Slika 17. Dostavna bespilotna letjelica Flirtey**

Prednosti:

- Nema potrebe za slijetanjem pri dostavi paketa
- Automatiziran istovar paketa
- Nije potrebno ručno odvajanje paketa

Nedostatci:

- Let nije autonoman, već za upravljanje letjelicom zadužen operater

## 4. PREGLED MODELA BESPILOTNIH LETJELICA PRIGODNIH ZA UPOTREBU S UREĐAJEM I NJIHOVIH PRIKLJUČNIH MJERA

### 4.1. Prikladni modeli bespilotnih letjelica

U skladu sa parametrom nosivosti od 1 kg korisnog tereta uvjetovanog zadatkom te predviđenom masom i namjenom uređaja, postavljena su dva kriterija za odabir prikladnih modela letjelica:

1. Nosivost letjelice mora biti veća ili jednaka 5 kg.
2. Vrijeme leta mora biti veće ili jednako 15 min.

Pronađeni modeli letjelica koji zadovoljavaju ove kriterije svrstani su u tablici 1.

**Tabela 1. Modeli letjelica prikladni za upotrebu s uređajem**

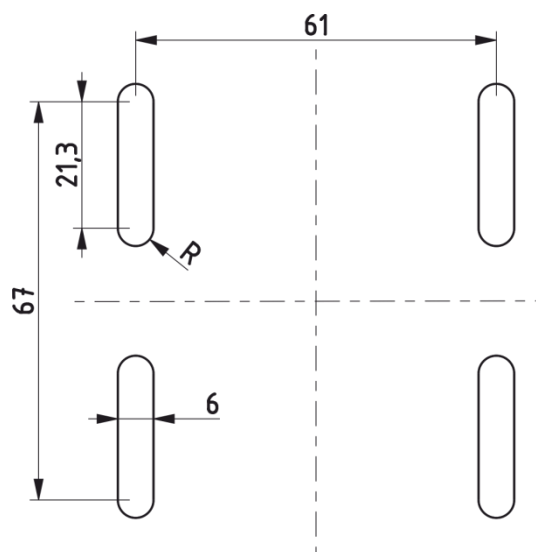
Proizvođač	Model letjelice	Nosivost /kg	Vrijeme leta /min
DJI	S1000	6,8	15
XactSense	Titan	22,7	30
	MAX 8	9,1	25
Allied Drones	HL48 Chaos	6,8	45
	HL88 Nemesis	8,2	30
North American	I-Sky	6,1	30
FreeFly Systems	Cinestar 8	5,5	30
	Alta Hexacopter	6,8	15
SteadyDrone	QU4D	8,0	20
TurboAce	Infinity 9Pro Octocopter	9,1	15
Airborne Robotics	AIR8	7,0	15
Aeronavics	SkyJib-8 Ti-QR	5,0	15

### 4.2. Priključne mjere prikladnih modela letjelica

U dopisu sa proizvođačima letjelica DJI, FreeFly Systems i SteadyDrone dobivene su priključne mjere za modele njihovih letjelica, prikazane slikama 18-20.

#### 4.2.1. Priključne mjere za letjelice firme DJI

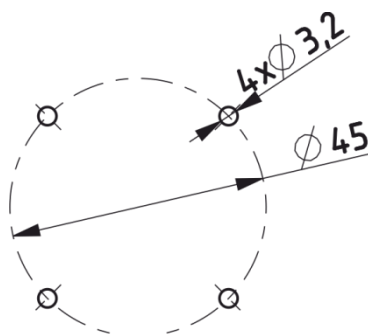
Letjelice firme DJI imaju četiri simetrično raspoređena proreza za vijke M6, kao prema slici 18.



Slika 18. Priključne mjere za DJI letjelice

#### 4.2.2. Priključne mjere za letjelice firme FreeFly Systems

Letjelice firme FreeFly Systems imaju po četiri simetrično raspoređena prolazna provrta za vijke M3 na promjeru 45mm, kao prema slici 19.

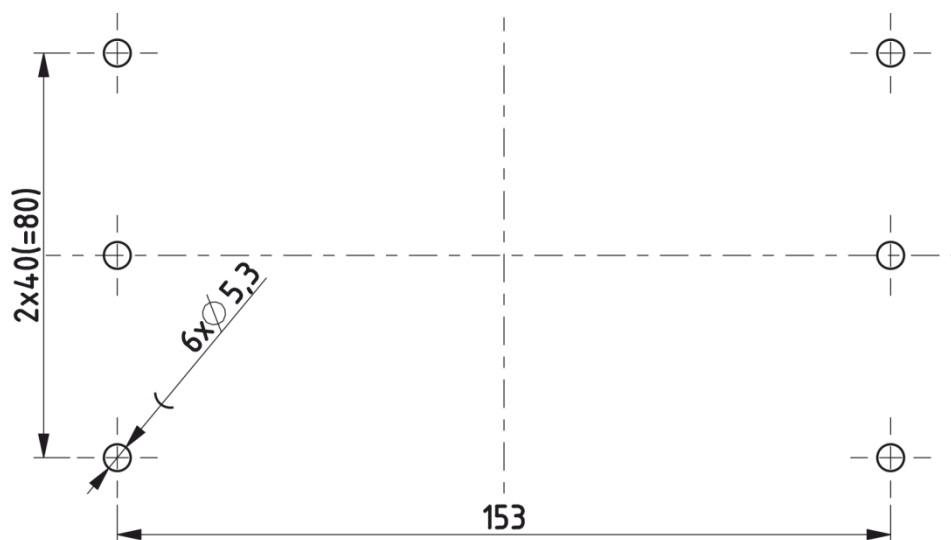


Slika 19. Priključne mjere za FreeFly Systems letjelice



#### 4.2.3. Priključne mjere za letjelice firme SteadiDrone

Letjelice firme SteadiDrone imaju po 6 prolaznih provrta za vijke M5, simetrično raspoređenih u dvored kao prema slici 20.



Slika 20. Priključne mjere za SteadiDrone letjelice

## 5. KONSTRUKCIJSKA RAZRADA

Prvi korak konstrukcijske razrade obuhvaća metodu tehničkog upitnika, sa svrhom jasnog definiranja ciljeva razvoja proizvoda te prepoznavanja i postavljanja ograničenja na proizvod. Definiranjem ciljeva i postavljanjem ograničenja na osnovi ispunjenog tehničkog upitnika usmjerava se razvoj te sprječava mogućnost stvaranja prevelikog broja neperspektivnih rješenja u fazi koncipiranja proizvoda.

**Tabela 2. Tehnički upitnik za definiranje cilja razvoja proizvoda**

Tehnički upitnik za definiranje cilja razvoja proizvoda	
1. Što je stvarni problem koji treba riješiti?	Potrebno je osmisлити uređaj koji bi kao funkcionalan dodatak u sklopu s bespilotnom letjelicom služio za prihvāt i dostavu tereta, bez potrebe za slijetanjem letjelice.
2. Koja implicitna očekivanja i želje je potrebno uključiti u razvoj?	Uređaj mora biti jednostavan za montažu na letjelicu i upotrebu, kompaktan, male mase, s mogućnošću prihvata spremnika različitih oblika i dimenzija.
3. Je su li pretpostavljene potrebe korisnika, funkcionalni zahtjevi i ograničenja zaista realni?	Pretraživanjem dostupnih rješenja ustanovljeno je da na domaćem i inozemnom tržištu postoji potražnja za ovakvim proizvodom na područjima dostave u komercijalne svrhe te za potrebe dostave potrebnog materijala pri hitnim intervencijama. Funkcionalni zahtjevi i ograničenja u skladu su s tehničkim mogućnostima i raspoloživom tehnologijom.
4. U kojim smjerovima postoje mogućnosti za kreativni razvoj i inventivno rješavanje problema?	Moguća je upotreba kompozitnih materijala za izradu nosive konstrukcije uređaja, čija povoljna mehanička svojstva pružaju širok spektar mogućnosti pri konstruiranju.
5. Ima li limita na kreativnost u razvoju?	Cijena uređaja, gabariti uređaja, potrebna pogonska snaga. Kako bi se ostvario uvjet kompatibilnosti uređaja sa što više različitih modela letjelica, masa uređaja i spremnika s teretom ne smije premašiti 5 kg.
6. Koje karakteristike/svojstva proizvod nužno mora imati?	Proizvod mora biti siguran za rukovanje, nezahtjevan za održavanje, pouzdan i efikasan u radu. Mora biti kompatibilan sa najraširenijim modelima letjelica u upotrebi te podoban za rad u nepovoljnim vremenskim uvjetima.
7. Koje karakteristike/svojstva proizvod sigurno ne smije imati?	Proizvod ne smije ugrožavati sigurnost operatera kao ni sigurnost osoba u neposrednoj okolini proizvoda. Proizvod ne smije narušiti stabilnost letjelice na koju je motiran. Također, proizvod ne smije biti prebučan, prevelik, niti premasivan.
8. Koji se aspekti razvoja mogu i trebaju kvantificirati u ovom trenutku?	Najveća dozvoljena masa uređaja, priključne mjere uređaja
9. Koji su tehnološki konflikti naslijeđeni u razvojne zadatke?	

Povećanje transportnog kapaciteta uređaja povećava masu uređaja, što pridodaje opterećenju letjelice te na taj način ograničava masu korisnog tereta za transport. Poželjno je izraditi kompaktnu konstrukciju, što može rezultirati kompliciranijom montažom.

## 5.1. Definiranje ciljeva

Iako je uobičajeno ograničavajući faktor u prvom redu cijena, u ovom slučaju jednako bitan utjecaj ima masa uređaja. Svako povećanje mase predstavlja dodatno opterećenje za letjelicu, što rezultira smanjenjem doleta i otežava upravljivost te za posljedicu ima smanjenje funkcionalnosti uređaja i letjelice kao cjeline. Potrebno je stoga naći za korisnika prihvatljiv odnos cijene i performansi,

### 1. MASA UREĐAJA

Potrebno je pri konstrukciji težiti minimizaciji mase uređaja. Prednost treba dati materijalima veće specifične čvrstoće.

### 2. DIMENZIJE UREĐAJA

Da bi se ostvarila kompatibilnost uređaja sa što većim spektrom letjelica potrebno je postaviti ograničenja na dimenzije uređaja. Prednost treba dati kompaktnijim rješenjima.

### 3. DISTRIBUCIJA MASE

Poželjno je ostvariti ravnomjernu distribuciju mase uređaja uz simetričan položaj težišta, kako bi se smanjio nepovoljan utjecaj dodatnih masa na opterećenje i upravljivost letjelice.

### 4. OTPORNOST NA NEPOVOLJNE VANJSKE UTJECAJE

Elektroničko sklopovlje i osjetljive strojne elemente uređaja treba zaštititi od utjecaja padalina kako bi se omogućila upotreba uređaja i u okolnostima nepovoljnih vremenskih uvjeta.

### 5. PRIHVATLJIVOST NA VIŠE MODELA LETJELICA

Pri konstrukciji uređaja potrebno je voditi računa o pažnju gabaritnim i priključnim mjerama kako bi se omogućila upotreba uređaja sa što većim brojem različitih modela letjelica.

Tabela 3. Definicija cilja za razvoj proizvoda

<b>DEFINICIJA CILJA ZA RAZVOJ PROIZVODA</b>	<b>Naziv projekta:</b> <b>Uređaj za prijenos tereta kod bespilotnih letjelica</b>
<b>Opis proizvoda:</b> Uređaj za prijenos tereta kod bespilotnih letjelica uz spuštanje tereta bez slijetanja letjelice	
<b>Primarno tržište:</b> Poduzeća koja obavljaju djelatnosti dostave	
<b>Sekundarno tržište:</b> Službe za hitne intervencije, potragu i spašavanje, rekreativni i hobi korisnici bespilotnih letjelica	
<b>Karakteristike koje se podrazumjevaju:</b> Kvalitetna izrada, nezahtjevno održavanje, jednostavna upotreba, kompaktne dimenzije	
<b>Ciljane grupe korisnika:</b> -Djelatnici dostavnih poduzeća -Djelatnici službi za hitne intervencije -Vlasnici bespilotnih letjelica, rekreativni korisnici	
<b>Pravci kreativnog razvoja:</b> -razvoj inačica povećanog transportnog kapaciteta za letjelice veće nosivosti -razvoj teretnih spremnika specijaliziranih namjena -razvoj priključaka različitih namjena	
<b>Ograničenja projekta:</b> -masa i dimenzije uređaja -cijena	

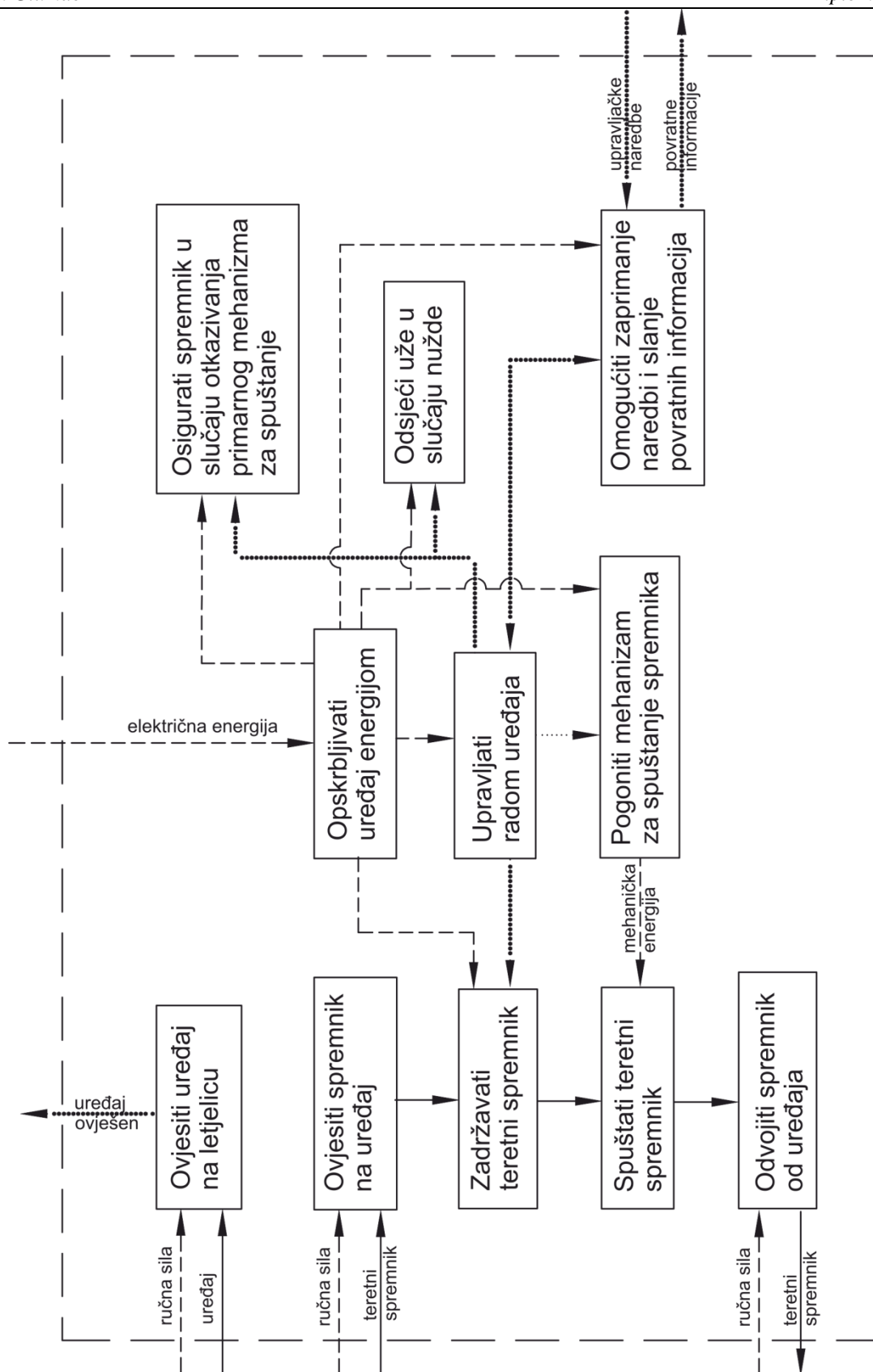
Glavne potrebe korisnika dobivene prema vlastitim iskustvima i rasprave s potencijalnim korisnicima dane su tablicom 4.

**Tabela 4. Glavne potrebe korisnika**

Ocjena važnosti	Glavne potrebe korisnika
6	Preciznost dostave
5	Cijena nabave uređaja
4	Energetska učinkovitost
3	Sigurnost u radu
2	Kompaktnost
1	Jednostavnost upotrebe

## **5.2. Funkcije proizvoda**

Da bi se izradili koncepti mogućih rješenja potrebno je odrediti funkcije proizvoda. Funkcije koje uređaj mora sadržavati i njihove međusobne relacije prikazane su funkcijskom dekompozicijom prema slici 21.



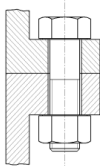
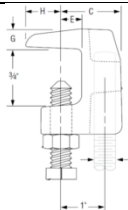
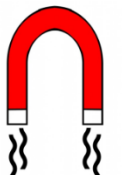
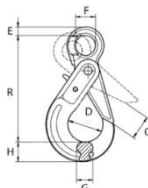
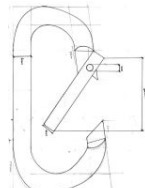
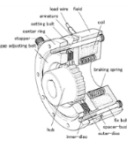
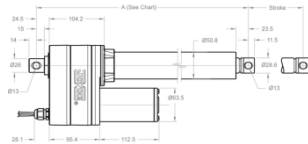



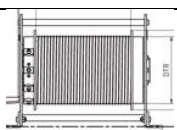
Slika 21. Funkcijska dekompozicija proizvoda

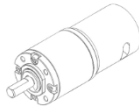

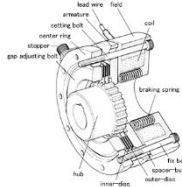


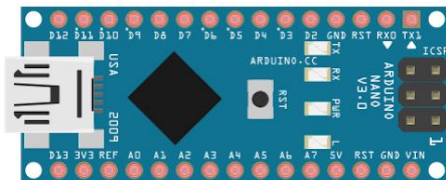
### 5.3. Generiranje koncepata

Prema definiranim funkcijama proizvoda u skladu s funkcijskom dekompozicijom izrađena je morfološka matrica koja daje pregled mogućih tehničkih rješenja tražene konstrukcije.

Pomoću morfološke matrice generirana su dva koncepta uređaja. Rješenja odabrana za pojedini koncepta označena su u matrici na tablici 5 pripadnim slovom A ili B.

**Tabela 5. Morfološka matrica proizvoda**

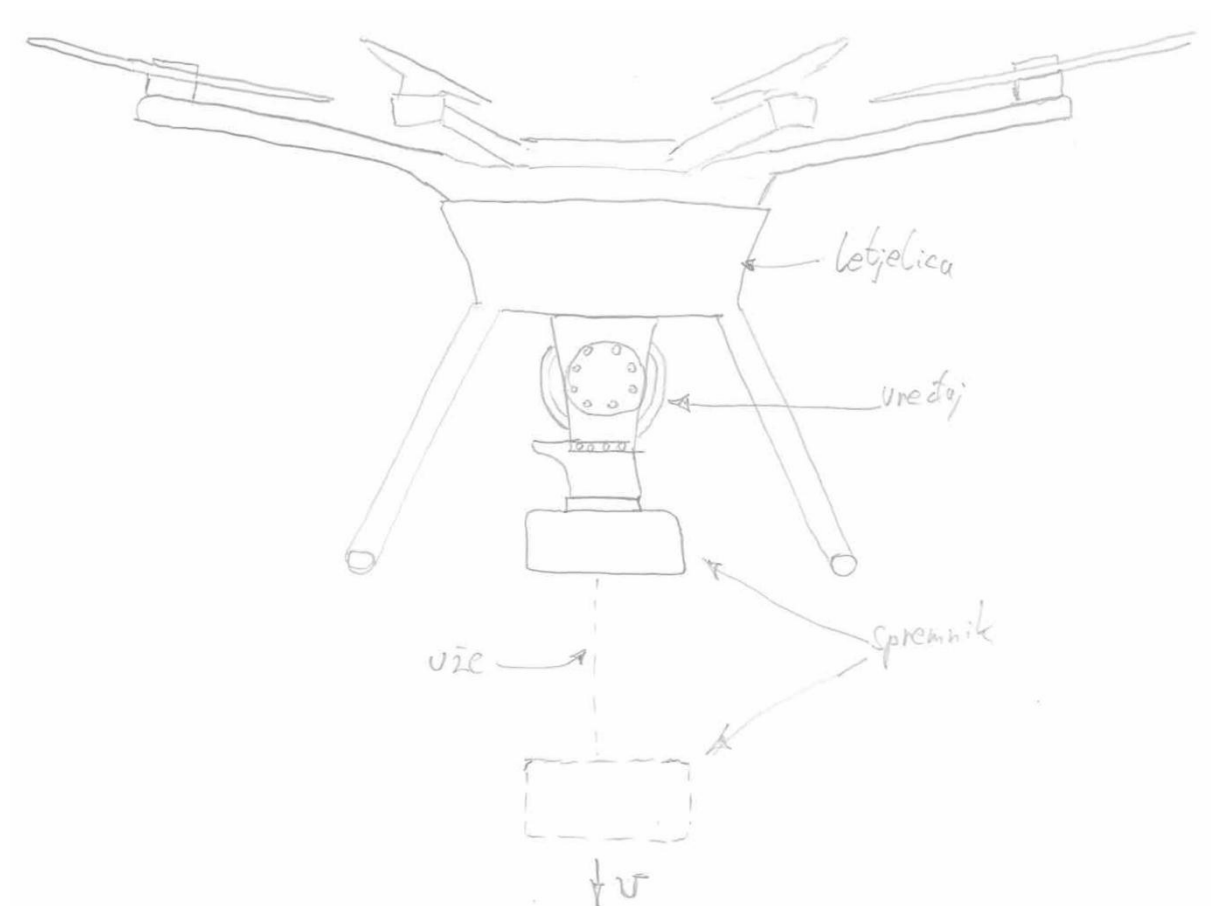
Br.	Funkcija	Rješenje		
1.	Ovjesiti uređaj na letjelicu	Vijčani spoj <sup>A</sup>	Stezaljke <sup>B</sup>	
				
2.	Ovjesiti spremnik na uređaj	Magnet <sup>B</sup>	Kuka <sup>A</sup>	Karabinjer
				
3.	Zadržavati teretni spremnik	Trenjem - kočnica <sup>A</sup>	Oblikom - pomoću aktuatora	Magnet <sup>B</sup>
				
4.	Spuštati teretni spremnik	Padobran <sup>B</sup>	Žirokopter	Vitlo <sup>A</sup>
				

5.	Pogoniti mehanizam za spuštanje	Gravitacijski B	Elektromotor A	
				
6.	Sigurnosni mehanizam za slučaj otkazivanja primarnog mehanizma pri spuštanju tereta	Padobran B	Kočnica A	
				
7.	Odsijeći užu u slučaju zaplitanja ili povlačenja	Nije potrebno B	Mehaničkim odsijecanjem	Toplinskim odsijecanjem A
				
8.	Obskrbljivati uređaj električnom energijom	Baterijom letjelice A	Baterijom uređaja B	
9.	Odvojiti spremnik od uređaja	Nije potrebno B	Ručnom silom A	
10.	Upravlјati radom uređaja	Mikrokontroler A B		
				
11.	Omogućiti zaprimanje naredbi i slanje povratnih informacija	Radio vezom A B		



## 6. KONCEPTI

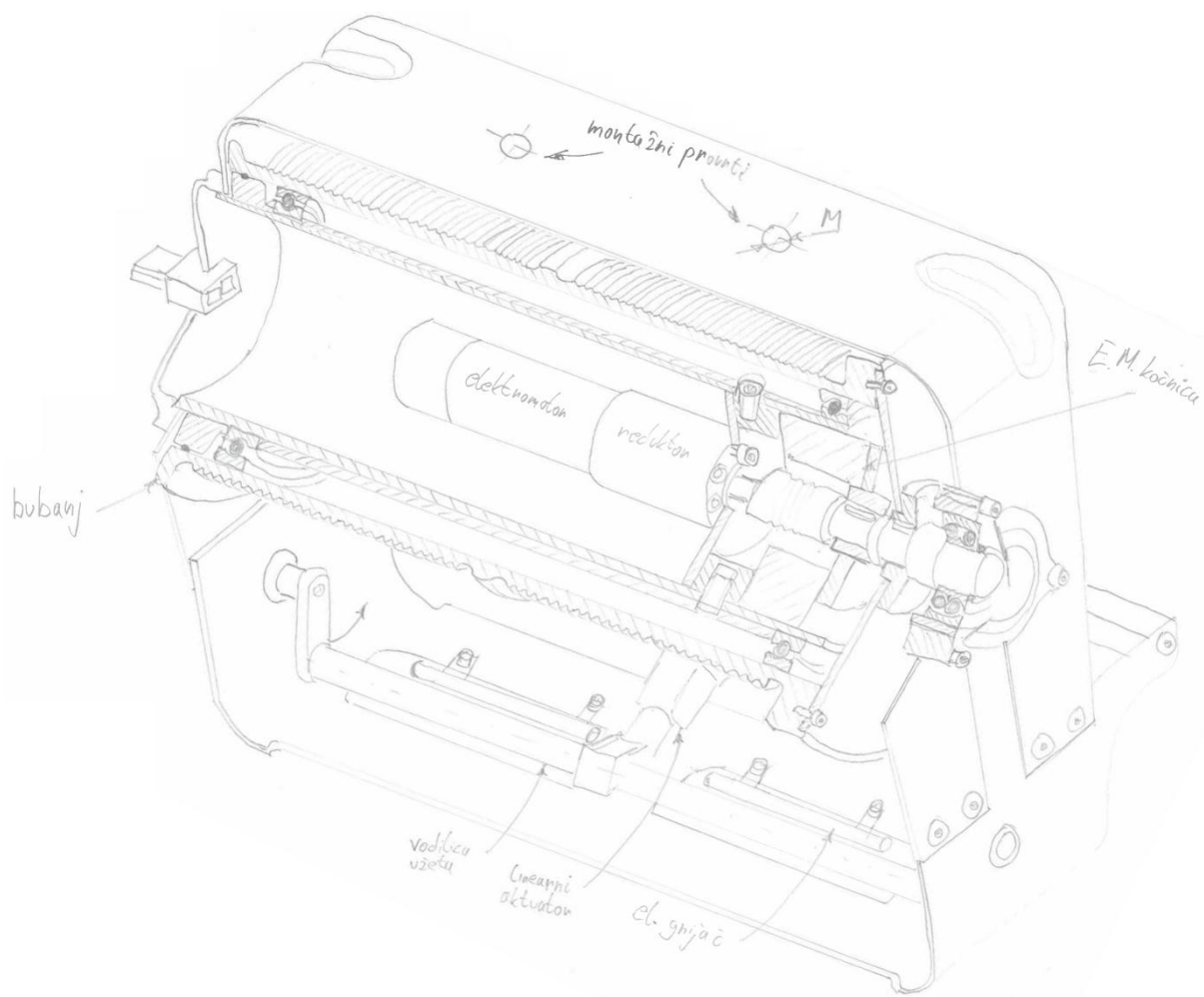
### 6.1. Koncept A



Slika 22. Skica koncepta A ovješnog na letjelici

Na slici 22 prikazano je konceptno rješenje uređaja ovješnog na letjelici. Uređaj se na letjelicu motira vijcima, dok je teretni spremnik ovješeno kukom te se spuštanje tereta obavlja pomoću vitla. Kako bi konstrukcija bila što kompaktnija, predviđen je smještaj pogonskog mehanizma unutar bubnja za namatanje užeta, kao prema slici 23. Zadržavanje spremnika vrši se elektomagnetnom kočnicom, a teret se spušta kočenjem elektromotorom. Po završetku spuštanja, spremnik se ručno odspaja sa kuke. Radom pojedinih elemenata uređaja upravlja mikrokontroler, dok se naredbe i povratne informacije o položaju mehanizma odašilju dvosmjernom radio vezom. S obzirom da se energija troši samo u fazi spuštanja tereta i povratnog namatanja užeta, za ovaj je koncept ocijenjeno adekvatnim napajanje baterijom letjelice na koju se montira, čime se ostvaruje i ušteda u pogledu mase uređaja.

Ukoliko bi pri spuštanju došlo do otkazivanja elektromotora, moment kočenja preuzela bi kočnica koja u ovom konceptu ima dvojnu svrhu kao element za zadržavanje te kao sigurnosni element. Budući da prilikom spuštanju tereta ili povratnog namatanja može doći do zaplitanja ili povlačenja užeta, ovaj koncept sadrži dodatni sigurnosni mehanizam za toplinsko odsijecanje užeta, koje se vrši uključivanjem električnih grijača i previjanjem užeta preko grijača uz pomoć okretne vodilice i linearnog aktuatora.

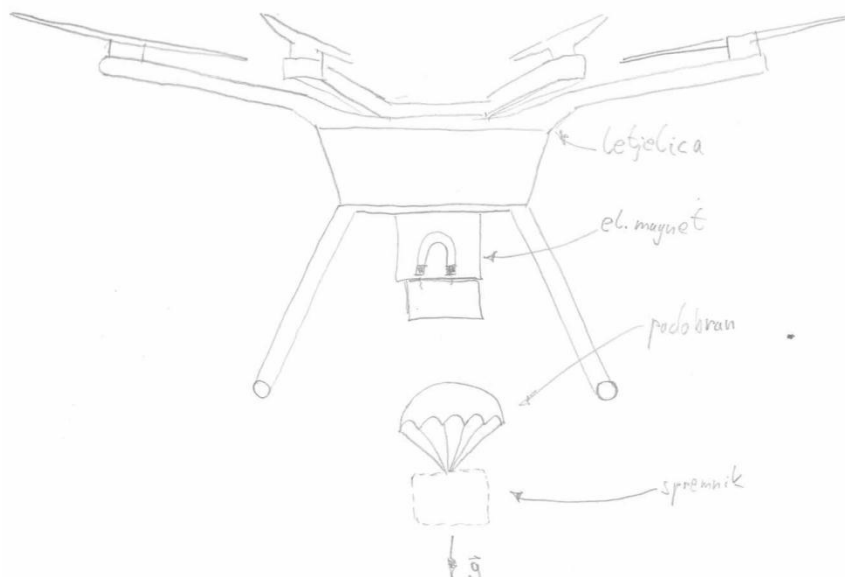


**Slika 23. Smještaj pogonskog mehanizma koncepta A**

## 6.2. Koncept B

Koncept B osmišljen je kao mehanički jednostavnija alternativa u usporedbi s konceptom A – prihvati i zadržavanje spremnika vrši se elektromagnetom, dok se spuštanje vrši gravitacijski uz pomoć padobrana. Odvajanje spremnika vrši se automatski po isključenju elektromagneta,

ta ga u ovom slučaju nije potrebno odvajati ručno. Mehanizam za odsijecanje užeta u ovoj izvedbi nije potreban, dok sigurnosni sustav u slučaju otkazivanja glavnog padobrana čini rezervni padobran. Upravljanje se vrši mikrokontrolerom uz prijenos naredbi radio vezom. S obzirom da se pri ovoj izvedbi radi zadržavanja spremnika energija troši u fazi leta od poljetanja do trenutka otpuštanja spremnika, ovim je konceptom predviđeno napajanje uređaja zasebnom baterijom. Skica koncepta prikazana je na slici 24.



**Slika 24. Skica koncepta B ovješnog na letjelici**

### 6.3. Vrednovanje i odabir koncepta

Dobiveni koncepti vrednovani su s obzirom na glavne potrebe korisnika – preciznost pri dostavi, cijene nabave uređaja, energetske učinkovitosti, sigurnosti u radu, kompaktnosti i jednostavnosti upotrebe. Ocjene koncepta s obzirom na pojedinu potrebu dane su tablicom 6.

**Tabela 6. Vrednovanje koncepata**

Glavne potrebe korisnika	Koncept A	Koncept B
Preciznost dostave	8	2
Cijena nabave uređaja	5	6
Energetska učinkovitost	9	4
Sigurnost u radu	7	6
Kompaktnost	7	8
Jednostavnost upotrebe	6	9

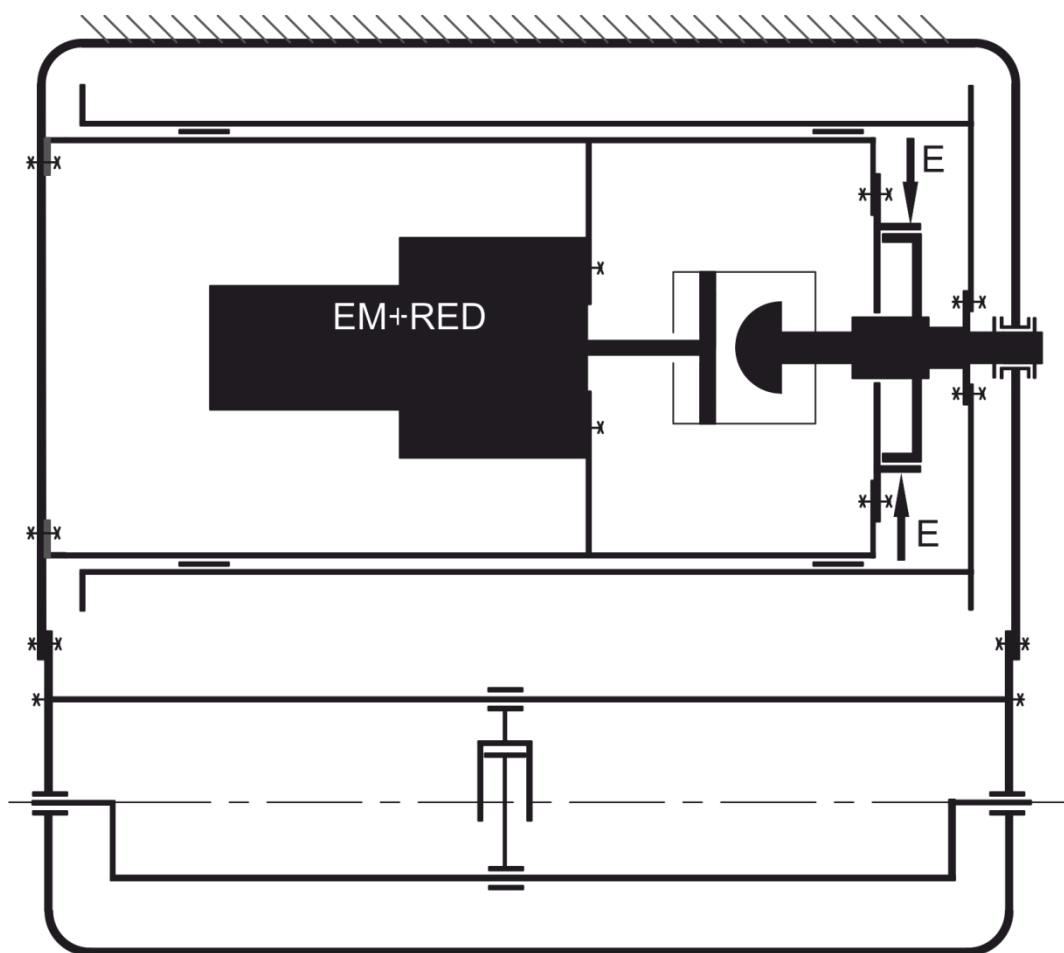
Zbroj umnožaka ocjene važnosti prema tablici 4 s pripadnom ocjenom zadovoljenosti potrebe iz tablice 6 daje vrijednost prema kojoj se odabire koncept:

- Koncept A = 150
- Koncept B = 101

U skladu s dobivenim vrijednostima za daljnji razvoj odabran je koncept A. Prednost koncepta A je u preciznosti dostave, gdje je koncept B ocijenjen niskom ocjenom budući da je dostava padobranom neprecizna te vrlo podložna utjecaju vjetra. Dostava vitlom bitno je preciznija zahvaljujući mogućnosti korekcije prilikom spuštanja te je u manjoj mjeri podložna utjecaju vjetra. Prednost koncepta B je u jednostavnosti upotrebe i kompaktnosti zahvaljujući mehanički jednostavnijem načinu zadržavanja spremnik i spuštanja tereta, no ima za posljedicu manju energetska učinkovitost kao i sigurnost u radu.

## 7. OPIS RADA ODABRANOG KONCEPTA

Za predloženi koncept odabrana je konstrukcija sa mehanizmom za zadržavanje i spuštanje tereta smještenim centrično unutar bubnja za namatanje užeta. Prednosti odabrane konstrukcije u odnosu na izvedbu s vanjski smještenim mehanizmom su: kompaktnost, smanjena masa, poboljšana otpornost na vremenske uvijete te povoljniji smještaj težišta.



Slika 25. Shematski prikaz mehanizma odabranog koncepta

Elektromotor i kočnica povezani su vijčanim spojem na spojni prsten, koji je prijelaznim dosjedom smješten unutar konzolnog oslonca te imbus vijcima bez glave osiguran od pomaka u cirkularnom i aksijalnom smjeru. Okretni moment motora prenosi se posredstvom fleksibilne spojke na pogonsko vratilo, te krutom vezom preko glavine i pogonske ploče na bubanj. Bubanj je uležišten na dva jednoredna kuglična ležaja smještena na vanjskoj stijenci

konzolnog oslonca, te jednom samoudesivom kugličnom ležaju posredstvom pogonskog vratila.

Konzolni oslonac uložen je u spojni prsten te osiguran vijcima, a sam spojni prsten je vijčanim spojem pričvršćen na gornju polutku kućišta. Odjeljak s elektroničkim sklopovljem i pogonskim mehanizmom dodatno je zaštićen od nepovoljnih vremenskih uvjeta O-brtvama na spojevima s kućištem i bubnjem.

Kućište, konzolni oslonac, pogonska ploča te ploča motora izrađeni su od kompozita s ugljičnim vlaknima. Za spojne prstene A i B, poklopce, odstoynike i graničnike ležajeva odabran materijal je ABS radi niske gustoće i dobrih mehaničkih svojstava, s navojnim umetcima prema DIN 16903 na mjestima pretviđenima za vijčani spoj.

Ovjes modula na letjelicu vrši se vijcima M3, M5 ili M6, zavisno od modela letjelice, na za tu svrhu predviđene montažne točke na gornjoj strani kućišta, prema rasporedu na slikama 18-20.

Centriranje teretnog spremnika vrši se pomoću okvira od standardnih aluminijskih L-profila, koji bi dosjedom na odgovarajući okvir spremnika osiguravali njegovu stabilnost prilikom leta. Upotrebom okvira za centriranje omogućena je upotreba spremnika različitih dimenzija, bez potrebe za izmjenom ili prilagodbom konstrukcije samog modula.

Zadržavanje tereta vrši se kočnicom pri čemu kočnica ne troši energiju budući da se kočna sila postiže opružnim elementom kočnice. Zahvaljujući takvom tzv. „power-off“ principu rada ova kočnica istovremeno vrši i ulogu sigurnosne kočnice.

Spuštanje tereta vrši se najprije ukapčanjem sklopke kočnice, čijim se elektromagnetskim djelovanjem savladava sila opružnog elementa. Nakon ukapčanja kočnice, brzina spuštanja regulira se brzinom vrtnje elektromotora, koji prilikom spuštanja radi u kočnom stanju.

Predviđeno je da za vrijeme spuštanja letjelica održava položaj, tj. da se prilikom spuštanja letjelica ne kreće.

Mehanizam za odsijecanje užeta sastoji se od okretne vodilice za izravnavanje užeta, uležištene kliznim ležajevima u kućištu, dva električna grijača te linearnog aktuatora Firgelli, ovješeno na nosaču aktuatora i povezanog s vodicom. Prilikom aktivacije mehanizma, aktuator ostvaruje pomak od zakreće vodilicu, previjajući oba kraja užeta preko električnih grijača.

## 8. PRORAČUN MEHANIZMA I NOSIVE KONSTRUKCIJE

### 8.1. Proračun mehanizma za zadržavanje i spuštanje tereta

#### 8.1.1. Dimenzioniranje užeta za podizanje

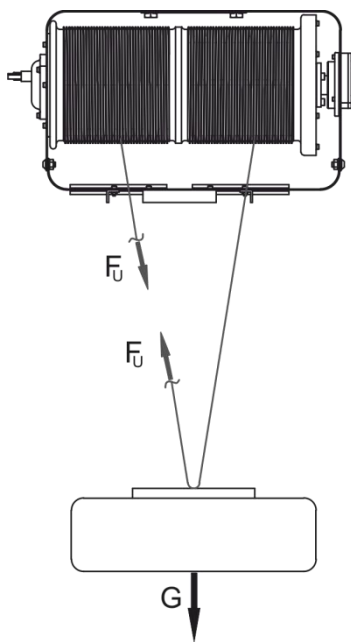
S obzirom malu na nosivost vitla, kao pogonsko uže odabrano je vlaknasto uže od sintetičkih vlakana. Užad od sintetičkih vlakana podesnija je za namatanje na bubanj manjeg promjera nego što je to slučaj kod žičane čelične užadi, te pruža bolju otpornost prema atmosferskim uvjetima nego užad od prirodnih vlakana. Radi visoke specifične čvrstoće te relativno niske točke tališta, prikladano je uže od polipropilena. Nisko talište poželjno je radi učinkovitijeg funkcioniranja mehanizma za odsijecanje užeta. Proračun užeta izvršen je prema [1], str 69:

$$d_u \geq c_u \sqrt{F_u} = 0,23 \cdot \sqrt{7,36} = 0,62 \text{ mm} \rightarrow \text{odabrano } d_u = 1,5 \text{ mm} \quad (1)$$

$$c_u = 0,22 \dots 0,35 \rightarrow \text{odabrano } c_u = 0,23 \quad (2)$$

$$F_u = \frac{1}{2} \cdot m_{uk} \cdot g = \frac{1}{2} \cdot 1,5 \cdot 9,81 = 7,36 \text{ N} \quad (3)$$

Odabrano je uže norimranog promjera 1,5 mm tipa 4874 koje ima jezgru i prevlaku od polipropilena [6].



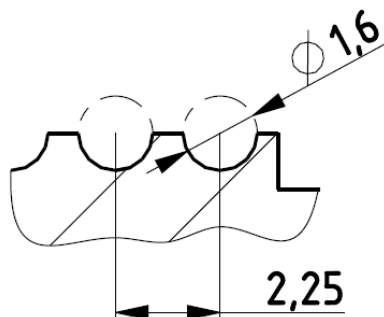
Slika 26. Sila u užetu

### 8.1.2. Dimenzioniranje bubnja za namatanje užeta

#### 8.1.2.1. Odabir promjera bubnja

S obzirom na odabranu konstrukcijsku izvedbu, odabir dimenzija bubnja od najvećeg je utjecaja na formu cjelokupne konstrukcije, te je potrebno odabrati odnos duljine i promjera bubnja koji će osigurati dovoljno prostora za smještaj pogonskog mehanizma i upravljačkog sklopovlja unutar samog bubnja i kompaktnost cjelokupne konstrukcije, uzimajući pri tome u obzir i utjecaj promjera bubnja na trajnost užeta. Budući da je predviđen aksijalni smještaj komponenti, bubanj bi trebao imati izduženu formu. Uz korak namatanja užeta  $t$  prema skici žlijeba na slici 27 te dodatna 4 namota za rasterećenje veze užeta s bubnjem duljina narezanog dijela za jedan navoj bubnja iznosi:

$$l_n = t \cdot \left( \frac{H}{D_B \cdot \pi} + 4 \right) \quad (4)$$



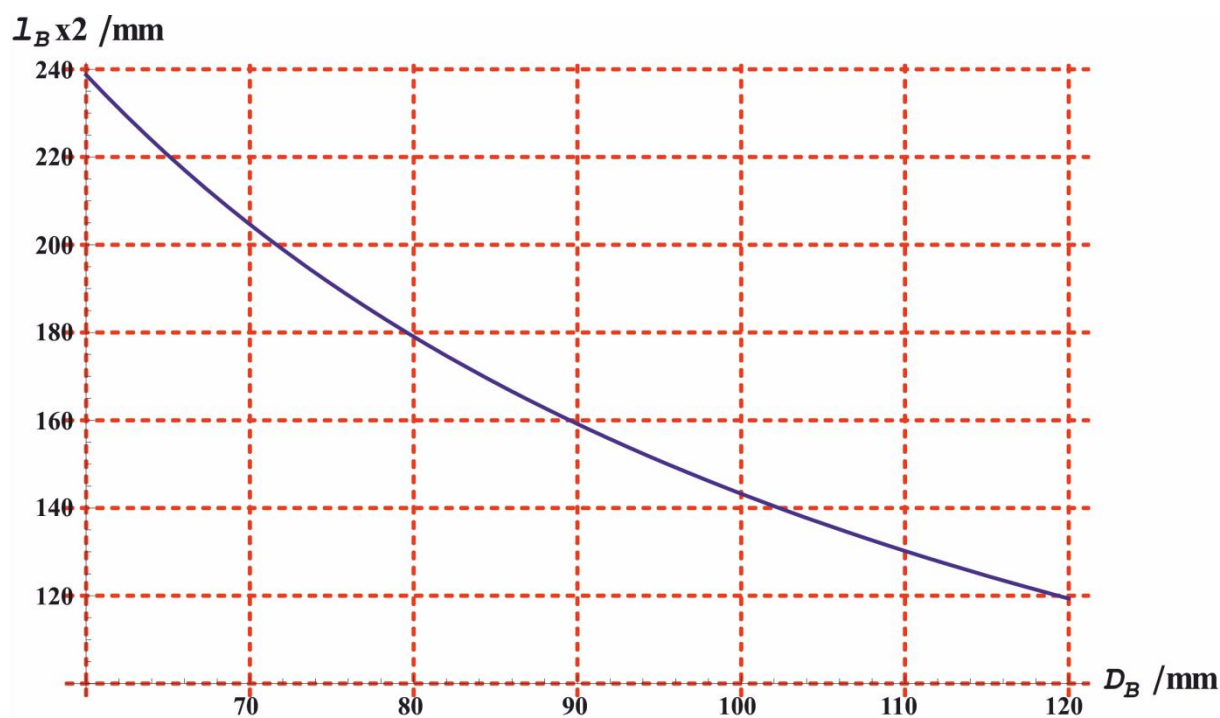
Slika 27. Detalj žlijeba

Slikom 28 prikazana je grafički relacija duljine narezanog dijela bubnja i promjera namatanja užeta za raspon promjera bubnja 60-120 mm, te za odabrani promjer bubnja  $D_B = 93$  mm duljina narezanog dijela bubnja iznosi:

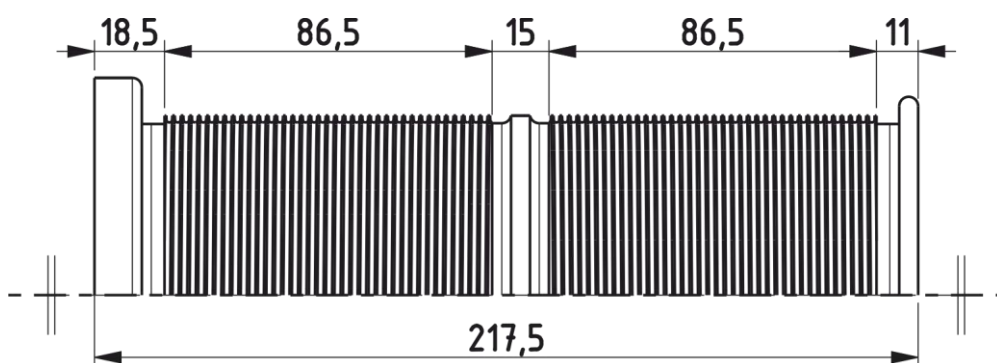
$$l_n = t \cdot \left( \frac{H}{D_B \cdot \pi} + 4 \right) = 2,25 \left( \frac{10 \cdot 10^3}{93 \cdot \pi} + 4 \right) \approx 86,5 \text{ mm} \quad (5)$$

Odabrane ostale duljinske dimenzije bubnja prikazane su slikom 29.





Slika 28. Odnos duljine i promjera bubnja prema izrazu (5)



Slika 29. Dimenzije bubnja

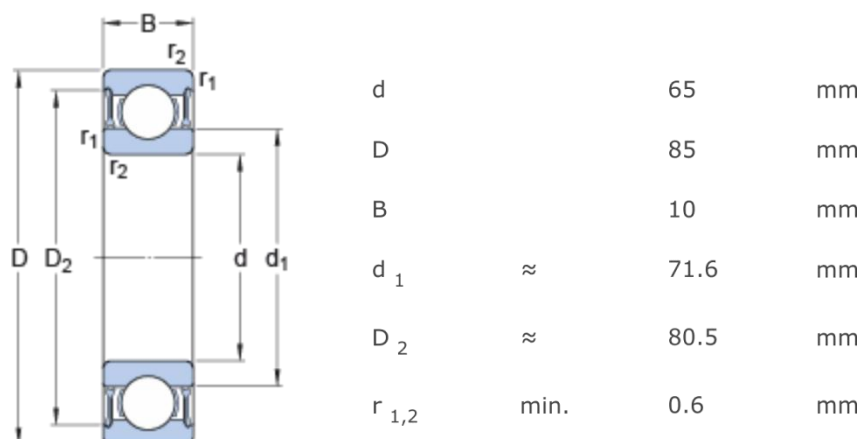
#### 8.1.2.2. Proračun čvrstoće stijenke bubnja

Budući da je bubanj s unutarnje strane oslonjen na kuglične ležajeve, debljina stijenke bubnja slijedi iz razlike tjemelog promjera bubnja i vanjskog prstena ležaja. S obzirom na tjemeni promjer bubnja

$$D_t = D_B - 2R_z = 93 - 2 \cdot 0,8 = 91,4 \text{ mm} \quad (6)$$

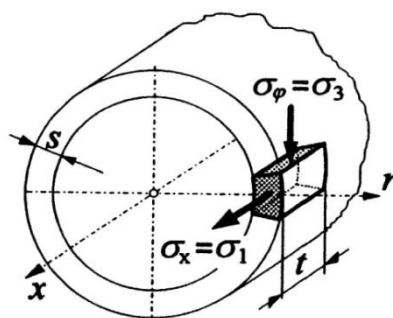
odabran je kuglični ležaj 61813-2RZ s mjerama prema slici 30 [10]. Debljina stijenke bubnja prema navedenom iznosi:

$$s = \frac{D_t - D_{L,v}}{2} = \frac{91,4 - 85}{2} = 3,2 \text{ mm} \quad (7)$$



Slika 30. Mjere ležaja 61813-2RZ

Prema [1], str. 172. proračun čvrstoće stijenke bubnja vrši se s obzirom na opterećenje na prolom. Glavna naprezanja su cirkularno i normalno (uslijed lokalnog savijanja stijenke na mjestu namatanja) kao prema slici 31.



Slika 31. Naprezanje elementa stijenke bubnja

Cirkularno naprezanje podalje od mjesta namatanja iznosi [1]:

$$\sigma_3 = \sigma_\varphi = -0,85 \cdot \frac{F_U}{t \cdot s} = -0,85 \cdot \frac{7,36}{2,25 \cdot 3,2} = -0,87 \text{ N/mm}^2 \quad (8)$$

Na mjestu namatanja cirkularno naprezanje iznosi:

$$\sigma_3 = \sigma_\varphi = -0,85 \cdot \frac{F_U}{t \cdot s} = -0,5 \cdot \frac{7,36}{2,25 \cdot 3,2} = -0,51 \text{ N/mm}^2 \quad (9)$$

Normalno naprezanje na mjestu namatanja iznosi [1]:

$$\sigma_1 = \sigma_x = 0,96 \cdot F_U \cdot \sqrt{\frac{1}{D_B \cdot s^3}} = 0,96 \cdot 7,36 \cdot \sqrt{\frac{1}{93 \cdot 3,2^3}} = 2,32 \cdot 10^{-3} \text{ N/mm}^2 \quad (10)$$

#### 8.1.2.3. Kontrola progiba bubnja

Kontrola progiba vrši se za najnepovoljniji slučaj opterećenja, kada je uže potpuno namotano te se smatra da opterećenje djeluje na polovini bubnja:

$$w_{\max} = \frac{2 \cdot F_U l_B^3}{48 E \cdot I_y} = \frac{2 \cdot 7,36 \cdot 217,5^3}{48 \cdot 1,7 \cdot 10^3 \cdot 8,63 \cdot 10^5} = 2,15 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \quad (11)$$

$$I_y = \frac{\pi}{64} (D_t^4 - D_{L,v}^4) = \frac{\pi}{64} (91,4^4 - 85^4) = 8,63 \cdot 10^5 \text{ mm}^4 \quad (12)$$

#### 8.1.2.4. Veza čelne ploče s bubnjem i glavinom

Moment potreban za pridržavanje i spuštanje tereta prenosi se na vratilo pogonskog mehanizma preko glavine i čelne ploče bubnja, prema slici 32. Čelna ploča vezana je na bubanj i glavinu vijcima, te je potrebno odabrati broj vijaka potrebnih za ostvarivanje sile trenja za prijenos momenta. Prema [2], str 99. vijak ne smije biti pritegnut preko 80% granice tečenja, iz čega slijedi namjanji potreban broj vijaka:

$$N_{V,\min,i} = 2 \cdot \frac{M_B \cdot S}{D_{V,i} \cdot F_{N,\max} \cdot \mu_t} \quad (13)$$

$$M_B = \frac{D_B \cdot m_{uk} g}{2} = \frac{93 \cdot 1,5 \cdot 9,81}{2} = 684,25 \text{ Nmm} \quad (14)$$

$$F_{N,\max} = A_{V,j} \cdot \sigma_{V,dop} \quad (15)$$

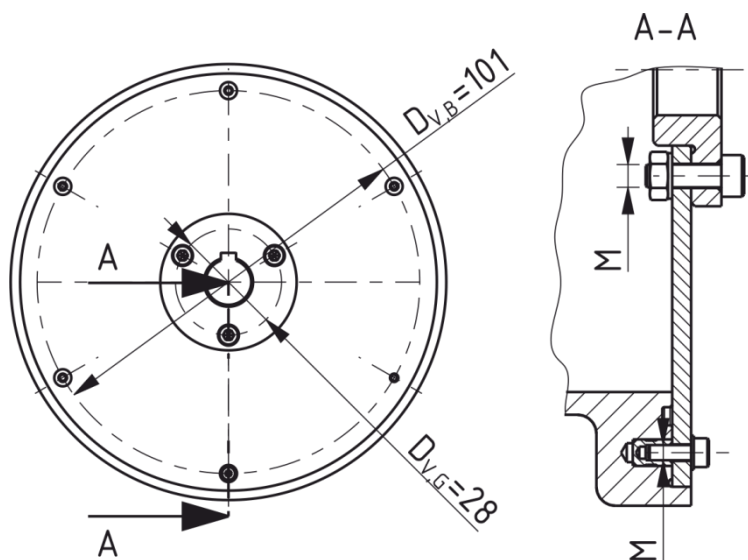
$$\sigma_{V,dop} = 0,8 \cdot \sigma_t = 0,8 \cdot 800 = 640 \text{ N/mm}^2 \quad (16)$$

$$\text{Za materijal kvalitete 10.8} \rightarrow \sigma_t = 0,8 \cdot 1000 = 800 \text{ N/mm}^2 \quad (17)$$

Pritisak podloške vijka na naliježuću površinu za odabrani broj vijaka pritegnutih za ostvarivanje ukupne potrebne sile  $F_N$  pri tome iznosi:

$$p_{p,i} = \frac{F_N}{A_{p,i} \cdot N_{v,i}} \quad (18)$$

$$F_N = 2 \cdot \frac{M_B \cdot S}{D_{v,i} \cdot \mu_t} \quad (19)$$



Slika 32. Spoj čelone ploče bubnja

Uz faktor sigurnost  $S = 2$  te faktor trenja za parove kompozit/ABS i kompozit/aluminij  $\mu_t = 0,1$  izračunate su vrijednosti za najmanji potreban broj vijaka. Izračunate vrijednosti za najmanji teoretski broj vijaka prema izrazu (19) i rezultirajući pritisak podloške vijka prema izrazu (18) za vijke M2, M2,5 i M3 navedene su u tablici 7.

Tabela 7. Najmanji potreban broj vijaka i pritisak podloške

Vijak	$A_{vj}$ /mm <sup>2</sup>	$A_p$ /mm <sup>2</sup>	$N_{v,min}$ za glavinu ( $D_{v,G}=28\text{mm}$ )	$N_{v,min}$ za bubanj ( $D_{v,B}=101$ mm)	$p_p$ /N/mm <sup>2</sup> za glavinu	$p_p$ /N/mm <sup>2</sup> za bubanj
M2	1,79	12,1	0,85	0,24	80,79	22,40
M2,5	2,98	13,9	0,51	0,14	70,32	19,50
M3	4,48	20,22	0,34	0,09	48,34	13,40

Prema dobivenim podacima odabrano je 6 vijaka M2 za vezu ploče s bubnjem i 3 vijka M3 za vezu ploče s glavinom. Rezultirajući pritisak podloške za odabrani broj vijaka prema tome iznosi:

$$p_{P,B} = \frac{22,4}{N_{V,B}} = \frac{22,4}{6} = 3,73 \text{ N/mm}^2 \quad (20)$$

$$p_{P,G} = \frac{48,34}{N_{V,G}} = \frac{48,34}{3} = 16,11 \text{ N/mm}^2 \quad (21)$$

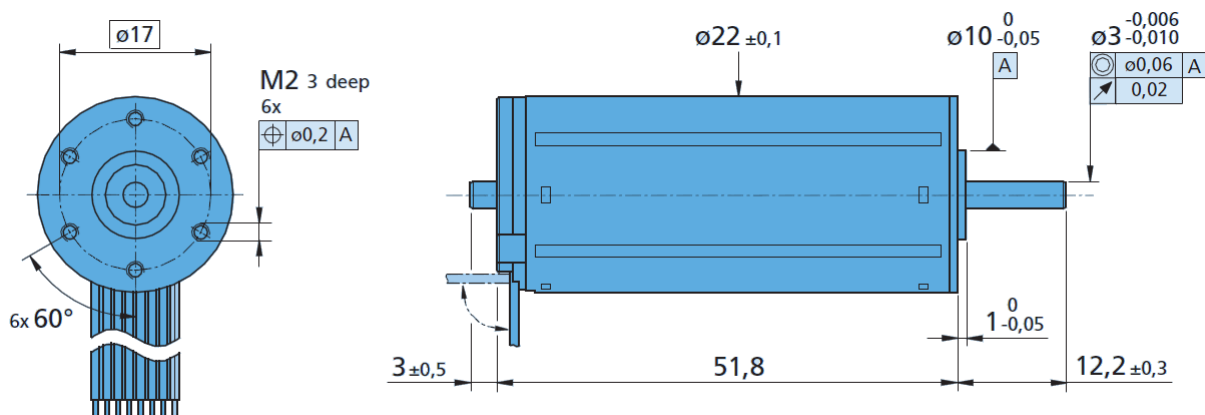
### 8.1.3. Odabir elektromotora

Prema zadanim parametrima zadatka modul mora imati sposobnost podizanja tereta mase do 1 kg na visinu podizanja od 10 m, u intervalu do 10 s. Budući da uz težinu tereta elektromotor mora savladavati i težinu teretnog spremnika (kutije), proračun će biti izvršen za ukupnu masu tereta i teretne kutije  $m_{uk} = 1,5 \text{ kg}$ :

$$P_1 = m_{uk} \cdot g \cdot \bar{v} = 1,5 \cdot 9,81 \cdot 1 = 14,72 \text{ W} \quad (22)$$

$$\bar{v} = \frac{H}{t_p} = \frac{10}{10} = 1 \text{ ms}^{-1} \quad (23)$$

Prema izračunatoj potrebnoj snazi odabran je elektromotor FAULHABER 2250BX4S s integriranim enkoderom IE3-1024:



Slika 33. Glavne mjere elektromotora

Karakteristike elektromotora pri nazivnom naponu dane su tablicom 8. S obzirom da je napon baterije kojom se napaja elektromotor niži od nazivnog napona elektromotora, potrebno je

provjeriti ostvarivu snagu s obzirom na raspoloživi napon izvora. Prema katalogu proizvođača snaga elektromotora pri naponu baterije iznosi [7]:

$$P_{EM} = \frac{R}{4} \left( \frac{U_{Bat}}{R} - I_0 \right)^2 = \frac{5,9}{4} \left( \frac{22,2}{5,9} - 0,095 \right)^2 = 19,84 \text{ W} > P_1 = 14,72 \quad (24)$$

**Zadovoljava!**

**Tabela 8. Karakteristike elektromotora pri nazivnom naponu**

<b>Karakteristike elektromotora pri 22°C i nazivnom naponu</b>			
<b>Veličina</b>	<b>Oznaka</b>	<b>Iznos</b>	<b>Jedinica</b>
Nazivni napon	$U_n$	24	V
Terminalni otpor, faza-faza	$R$	5,9	$\Omega$
Stupanj učinkovitosti, max.	$\eta_{max}$	72	%
Brzina praznog hoda	$n_0$	10900	o/min
Struja praznog hoda	$I_0$	0,095	A
Prekretni moment	$M_H$	85,7	mNm
Moment dinamičkog trenja	$M_v$	$1,3 \times 10^{-4}$	mNm/[o/min]
Moment statičkog trenja	$M_0$	0,54	mNm
Konstanta povratne elektomagnetske sile	$k_E$	2,231	mV/[o/min]
Konstanta momenta	$k_M$	21,3	mNm/A
Nagib n-M pravca	$\Delta n / \Delta M$	124,8	[o/min]/mNm

Uz provjeru snage, potrebno je provjeriti zadovoljavaju li i ostale karakteristike elektromotora pri smanjenom naponu izvora [7]:

$$M_H = k_M \left( \frac{U_{Bat}}{R} - I_0 \right) = 21,3 \left( \frac{22,2}{5,9} - 0,095 \right) = 78,1 \text{ mNm} \quad (25)$$

$$n_0 = \frac{U_{Bat} - I_0 \cdot R}{k_E} = \frac{22,2 - 0,095 \cdot 5,9}{2,231} \cdot 10^3 = 9700 \text{ o/min} \quad (26)$$

$$\eta_{max} = \left( 1 - \sqrt{I_0 \cdot \frac{R}{U_{Bat}}} \right)^2 = \left( 1 - \sqrt{0,095 \cdot \frac{5,9}{22,2}} \right)^2 = 0,707 \quad (27)$$

### 8.1.4. Odabir reduktora

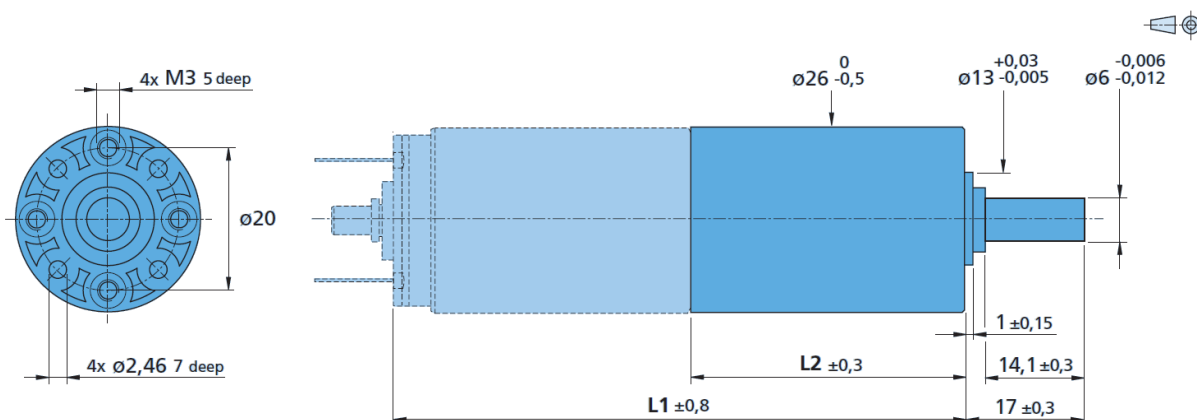
S obzirom na potrebnu brzinu spuštanja te predviđenog promjera bubnja potrebno je izvršiti odabir reduktora, pri čemu je potrebno uzeti u obzir i rezultirajući položaj radne točke elektromotora na n-M grafu, te dimenzijske parametre za prostorni smještaj pogonskog sklopa u konstrukciji.

Potreban moment na izlaznom vratilu reduktora iznosi prema izrazu (28)

$M_B = 684,25 \text{ mm}$ , a potrebna brzina vrtnja pri spuštanju iznosi:

$$n_B = \frac{2\bar{v}}{D_B} \cdot \frac{30}{\pi} = \frac{2 \cdot 1}{0,93} \cdot \frac{30}{\pi} = 205,36 \text{ o/min} \quad (28)$$

Odabran je trostupanjski reduktor FAULHABER 26AK, prijenosnog odnosa  $i=40$ :



Slika 34. Glavne mjere reduktora

Glavne tehničke karakteristike odabranog reduktora prikazane su u tabeli 9.

Tabela 9. Tehničke karakteristike reduktora 26AK

Tehničke karakteristike reduktora			
Veličina	Oznaka	Iznos	Jedinica
Dopuštena brzina vrtnje ulaznog vratila za trajni pogon	$n_{t,max}$	5000	o/min
Dopuštena brzina vrtnje ulaznog vratila za povremeni pogon	$n_{p,max}$	10000	o/min
Dopušteni moment za trajni pogon	$T_{t,max}$	750	mNm
Dopušteni moment za povremeni pogon	$T_{p,max}$	1100	mNm
Dopušteno radijalno opterećenje vratila, 10 mm od prirubnice	$F_{dop,r}$	60	N
Dopušteno aksijalno opterećenje vratila	$F_{dop,a}$	15	N
Kutna zračnost reduktora	$\psi$	$\leq 3$	°
Radijalna zračnost vratila	$z_r$	$\leq 0,1$	mm
Aksijalna zračnost vratila	$z_a$	$\leq 0,25$	mm
Stupanj učinkovitosti	$\eta_r$	73	%

Nakon odabira reduktora potrebno je izvršiti provjeru položaja radne točke elektromotora u kočnom stanju, uz procjenjene gubitke uležištenja, elastične spojke i brtvljenja:

$$n_{EM} = n_B \cdot i = 205,36 \cdot 40 = 8214,4 \text{ o/min} > \frac{n_0}{2} = 4850 \text{ o/min} \quad (29)$$

**Zadovoljava!**

$$M_{EM,k} = \frac{M_G}{i} \cdot \eta_{uk,k} - M_v \cdot n_{EM} = \frac{685}{40} \cdot 0,58 - 1,3 \cdot 10^{-4} \cdot 8214,4$$

$$M_{EM,k} = 8,9 \text{ mNm} < \frac{M_H}{2} = 39,05 \text{ mNm} \quad (30)$$

**Zadovoljava!**

$$\eta_{uk,k} = \left(2 - \frac{1}{\eta_0}\right)^3 \cdot \left(2 - \frac{1}{\eta_r}\right) \cdot \left(2 - \frac{1}{\eta_s}\right) \cdot \left(2 - \frac{1}{\eta_b}\right) =$$

$$= \left(2 - \frac{1}{0,99}\right)^3 \cdot \left(2 - \frac{1}{0,73}\right) \cdot \left(2 - \frac{1}{0,97}\right) \cdot \left(2 - \frac{1}{0,98}\right) = 0,58 \quad (31)$$

Pri spuštanju tereta željenom brzinom od 1 m/s potreban je napon:

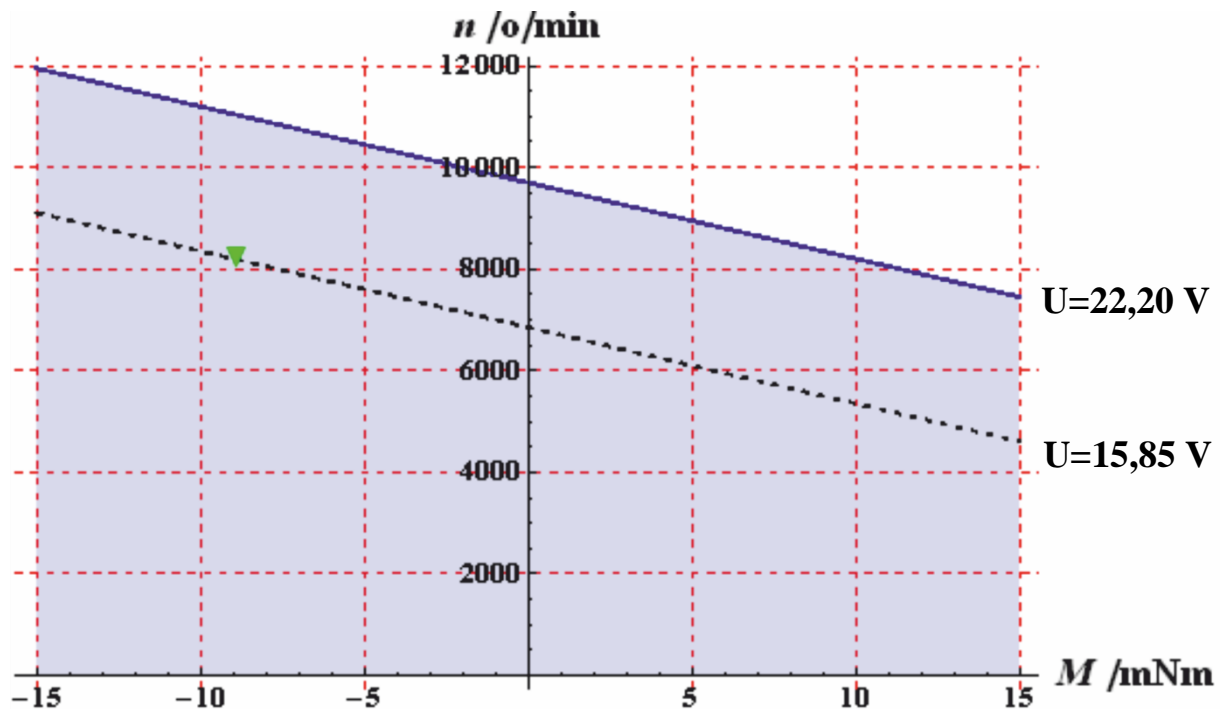


$$U_{\text{pot,k}} = n_{\text{EM}} \cdot k_E + R \cdot I_k = 8214,4 \cdot 2,231 \cdot 10^{-3} + 5,9 \cdot (-0,42) = 15,85 \text{ V}$$

$$U_{\text{pot,k}} < U_{\text{Bat}} = 22,2 \text{ V} \quad (32)$$

**Zadovoljava!**

$$I_k = -\frac{M_{\text{EM,k}}}{k_M} = -\frac{8,9}{21,3} = -0,24 \text{ A} \quad (33)$$



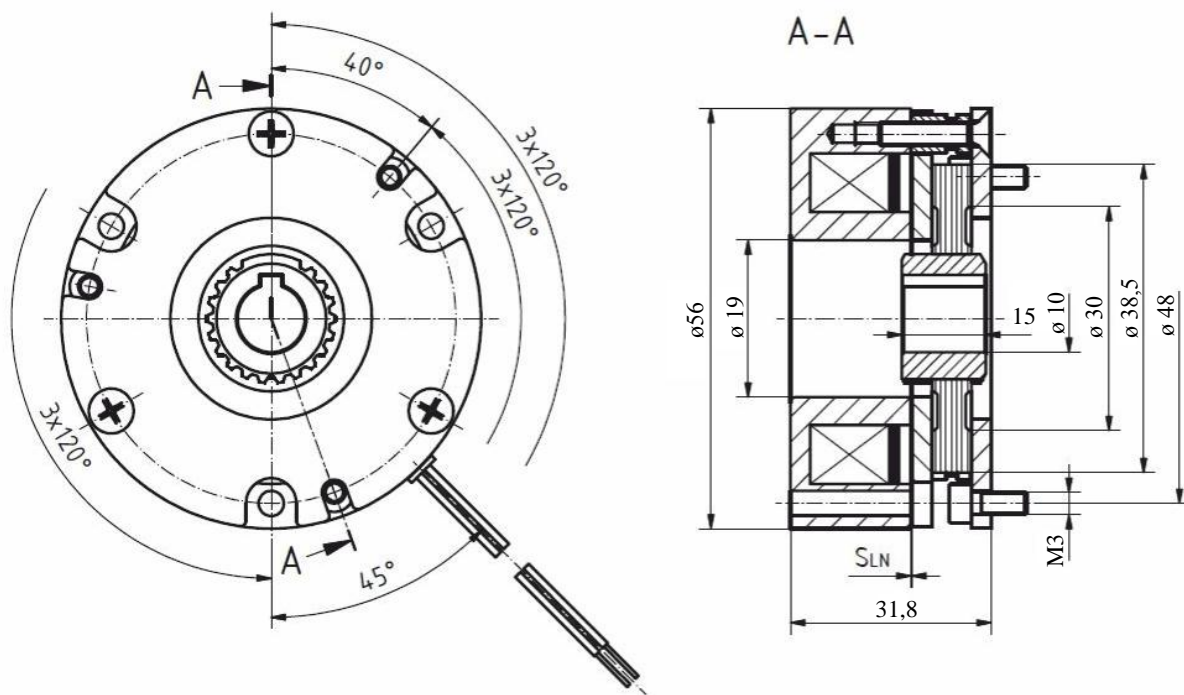
Slika 35. Položaj radne točke motora FAULHABER 2250BX4S na n-M dijagramu [7]

#### 8.1.5. Odabir kočnice za zadržavanje

Odabir kočnice za zadržavanje tereta vrši se s obzirom na potreban moment zadržavanja tereta, uzimajući u obzir i moment statičkog trenja elektromotora [7]:

$$M_{\text{pot,K}} = M_G - M_0 \cdot i \cdot \eta_{\text{uk,k}}^{-1} = 684,25 - 0,54 \cdot 40 \cdot 0,58^{-1} = 647 \text{ mNm} \quad (34)$$

Odabrana je kočnica INTORQ BFK-457-03:



Slika 36. Glavne mjere kočnice BFK-457-03

Moment zadržavanja kočnice iznosi [9]:

$$M_K = 1000 \text{ mNm} > M_{\text{pot},K} = 647 \text{ mNm} \quad (36)$$

**Zadovoljava!**

Maksimalna vertikalna komponenta ubrzanja pri uzlijetanju s teretom maksimalne predviđene mase prema tome iznosi:

$$a_{\text{max},v} = \frac{2M_K}{D_b \cdot m_{\text{uk}}} - g = \frac{2 \cdot 1}{0,093 \cdot 1,5} - 9,81 = 4,53 \text{ ms}^{-2} \quad (37)$$

Nazivni napon kočnice je 24 V uz dozvoljeno odstupanje od  $\pm 10\%$ , te minimalni potreban napon za uključivanje kočnice iznosi:

$$U_{K,\text{min}} = 0,9 \cdot U_{K,N} = 0,9 \cdot 24 = 21,6 < U_{\text{Bat}} = 22,2 \text{ V} \quad (38)$$

**Zadovoljava!**

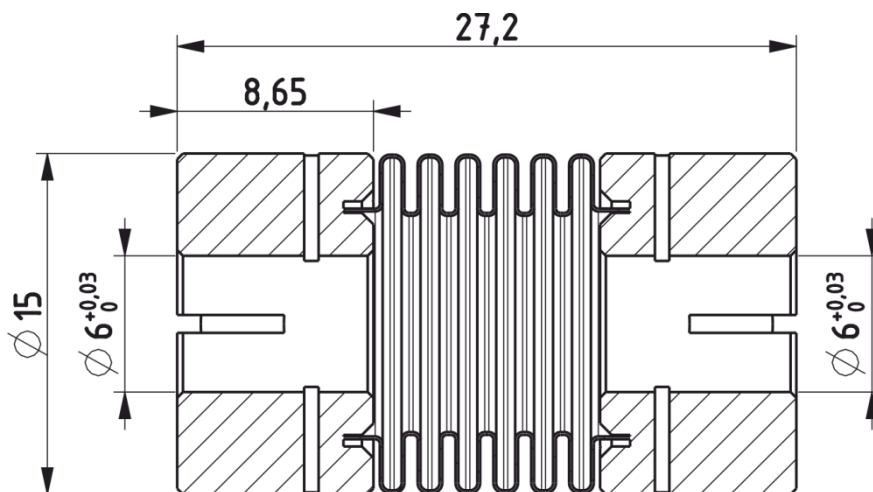
#### 8.1.6. Odabir spojke

Budući da je izlazno vratilo reduktora izrađeno bez utora za pero, potrebno je odabrati steznu spojku za priključenje elektromotora i reduktora na pogonsko vratilo. Odabir spojke vrši se

prema zahtjevima za prijenos dinamičkog istosmjernog momenta, te konstrukcijskim zahtjevima u pogledu ograničenog raspoloživog prostora za montažu:

$$M_{S,din} \geq 685 \text{ mNm} \quad (39)$$

Odabrana je fleksibilna aluminijska spojka RULAND Bellows MBC15-6-6-A sa steznim glavinama:



Slika 37. Glavne mjere odabrane spojke

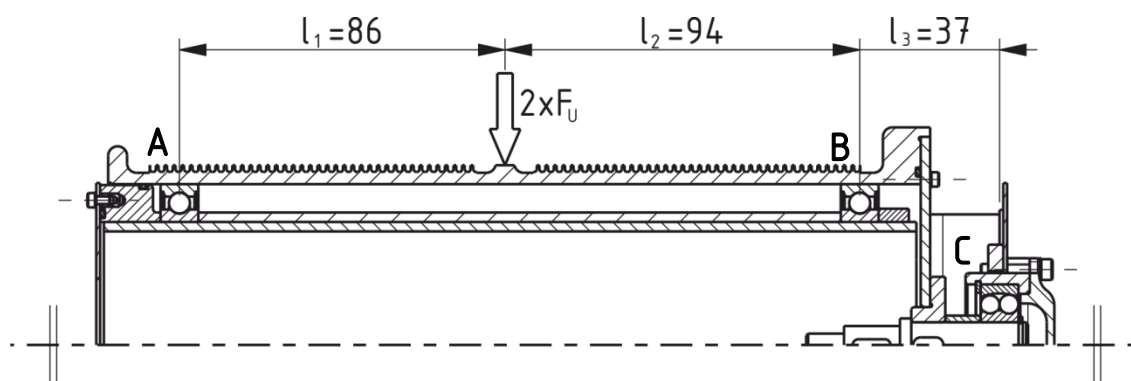
Tabela 10. Tehničke karakteristike odabrane spojke

Tehničke karakteristike spojke [8]			
Veličina	Oznaka	Iznos	Jedinica
Maksimalni statički moment	$M_{S,stat}$	2500	mNm
Maksimalni istosmjerni dinamički moment	$M_{S,din,i}$	1250	mNm
Maksimalni naizmjenični dinamički moment	$M_{S,din,n}$	630	mNm
Maksimalna dopuštena brzina vrtnje	$n_{S,max}$	10000	o/min
Dopušteno kutno odstupanje osi vratila	$\delta_{dop}$	1,5	°
Dopušteno odstupanje paralelnosti osi vratila	$x_{p,dop}$	0,1	mm
Kompenzacija aksijalnog pomaka	$x_{a,dop}$	0,2	mm

### 8.1.7. Proračun vratila

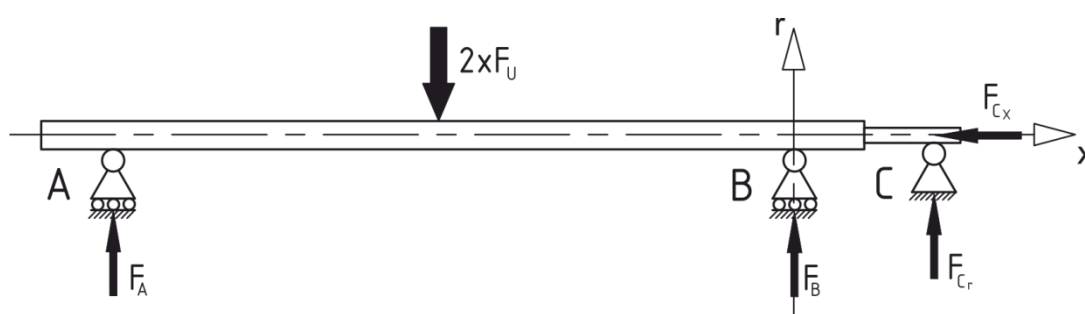
#### 8.1.7.1. Proračun reakcija u ležajevima bubnja i vratila

Pogonsko vratilo mehanizma vrši funkciju prijenosa okretnog momenta za zadržavanje i spuštanje tereta na bubanj, a pored te osnovne zadaće i kao dodatan oslonac bubnja, prenoseći aksijalno i dio radijalnog opterećenja na samoudesivi kuglični ležaj C.



Slika 38. Uležištenje bubnja i vratila

S obzirom na krutu vezu vratila i glavine, sklop bubnja i vratila može se smatrati jedom cjelinom, kao prema shemi na slici 39. Kao posljedica oslanjanja na tri ležaja, ovaj problem je jedan puta statički neodređen.



Slika 39. Proračunski model opterećenja bubnja i vratila

Radijalne komponente reakcije u ležajevima određene su primjenom Clayperonove metode triju momenata, podjelom sklopa na statički određene cjeline prema slici 40.

Postavljanjem uvijeta ravnoteže sa segment AB dobiven je sustav jednačbi (40) i (41):

$$\Sigma F_r = 0: F'_A + F'_{BL} - 2F_U = 0 \quad (40)$$

$$\Sigma M_A = 0: F'_{BL} \cdot (l_1 + l_2) - 2F_U \cdot l_1 = 0 \quad (41)$$

Rješenjem ovog sustava dobivene su komponente reakcija  $F'_A$  i  $F'_{BL}$  u osloncima A i B uslijed opterećenja vanjskom silom  $F_U$ :

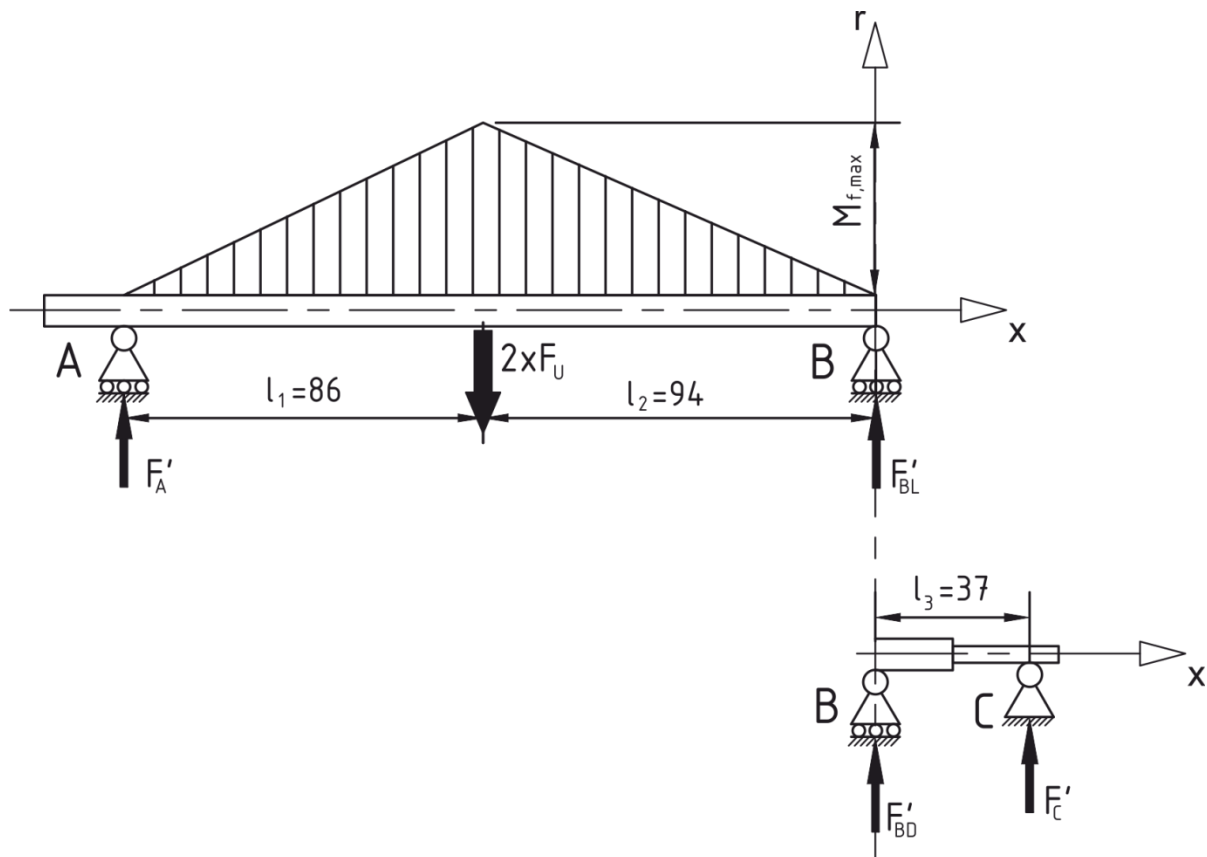
$$F'_A = 2F_U \left( 1 - \frac{l_1}{l_1 + l_2} \right) = 2 \cdot 7,36 \left( 1 - \frac{86}{86 + 94} \right) = 7,69 \text{ N} \quad (42)$$

$$F'_{BL} = 2F_U - F'_A = 2 \cdot 7,36 - 7,69 = 7,09 \text{ N} \quad (43)$$

Budući da na segmentu BC ne djeluju vanjska opterećenja, sve komponente reakcija uslijed vanjskih opterećenja  $F'_{BD}$  i  $F'_C$  jednake su nuli.

Za postavljanje jednadžbe triju momenata potrebno je izračunati i vrijednost najvećeg momenta savijanja  $M_{f,\max}$  uslijed opterećenja vanjskim silama. Prema stojarskom priručniku [3]  $M_{f,\max}$  iznosi:

$$M_{f,\max} = 2F_U \cdot \frac{l_1 \cdot l_2}{l_1 + l_2} = 2 \cdot 7,36 \cdot \frac{86 \cdot 94}{86 + 94} = 661,09 \text{ Nmm} \quad (44)$$



Slika 40. Podjela sklopa na statički određene cjeline

Dopunska jednadžba triju momenata za oslonac B glasi:

$$M_A(l_1 + l_2) + 2M_B(l_1 + l_2 + l_3) + M_C l_3 = -6 \frac{a_1 l_1}{l_1 + l_2} \quad (45)$$

$$a_1 = \frac{1}{2} M_{f,\max} (l_1 + l_2) = \frac{1}{2} \cdot 661,09 \cdot (86 + 94) = 59498,24 \text{ Nmm}^2 \quad (46)$$

Varijabla  $a_1$  izraza (45) označava površinu ispod krivulje momenta, prema grafu na slici 40. Iz rubnih uvijeta slijedi da su unutarnji momenti savijanja  $M_A$  i  $M_C$  jednaki nuli, te iz izraza (45) slijedi:

$$M_B = -3 \cdot \frac{a_1 l_1}{(l_1 + l_2)(l_1 + l_2 + l_3)} = -3 \cdot \frac{59498,1 \cdot 86}{(86 + 94)(86 + 94 + 37)} = -393 \text{ Nmm} \quad (47)$$

Iznos reakcija u osloncima zbroj je reakcija uslijed opterećenja vanjskim silama te opterećenja unutarnjim momentom savijanja:

$$F_A = F'_A + \frac{M_B}{l_1 + l_2} = 7,69 - \frac{393}{86 + 94} = 5,5 \text{ N} \quad (48)$$

$$F_B = F'_{BL} + F'_{BD} + \frac{M_A - M_B}{l_1 + l_2} + \frac{M_C - M_B}{l_3} = 7,09 + \frac{393}{86 + 94} + \frac{393}{37} = 19,84 \text{ N} \quad (49)$$

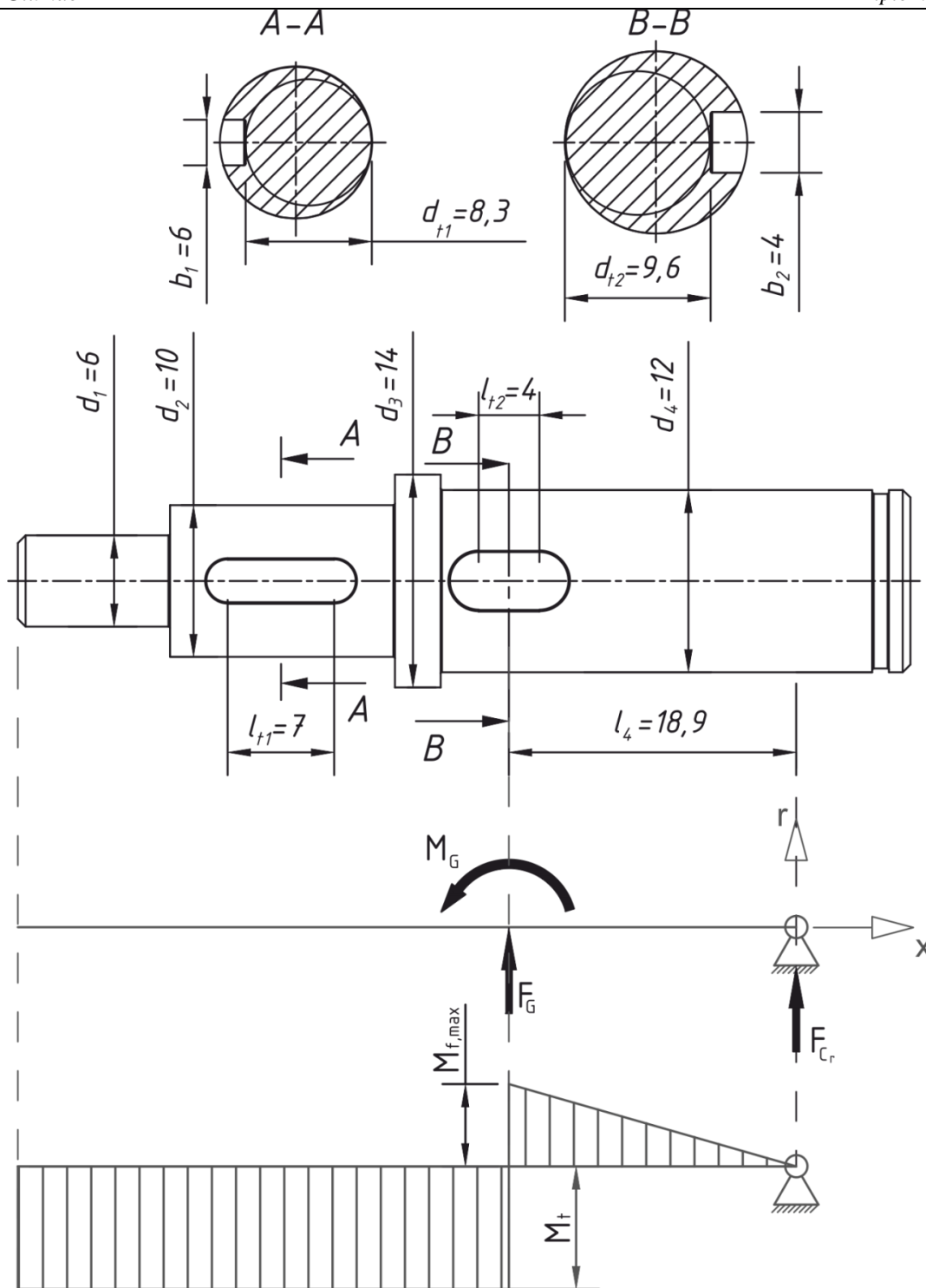
$$F_C = F'_C + \frac{M_B - M_C}{l_3} = 0 - \frac{393}{37} = -10,62 \text{ N} \quad (50)$$

Aksijalna komponenta reakcije u čvrstom osloncu C slijedi iz uvjeta ravnoteže:

$$\Sigma F_x = 0: F_{Cx} = 0 \quad (51)$$

#### 8.1.7.2. Kontrola naprezanja u kritičnim presjecima vratila

Vratilo je opterećeno momentom torzije i savijanja, što je prikazano slikom 41. Kritični presijeci vratila uključuju prijelazime segmenata  $d_1 / d_2$  i  $d_2 / d_3$  te presijeke A-A i B-B radi utjecaja koncentracije naprezanja odnosno zareznog djelovanja utora za pero. Prijelazi  $d_1 / d_2$  i  $d_2 / d_3$  te presjek A-A opterećeni su samo momentom uvijanja, dok je presjek B-B opterećen i momentom uvijanja i momentom savijanja. Uz kontrolu naprezanja kritičnih presjeka [4], potrebno je izvršiti i kontrolu bočnog tlaka na utorima za pero [2].



Slika 41. Opterećenje vratila

Naprezanje na prijelazu segmenata  $d_1 / d_2$  iznosi:

$$\tau_{1,2} = \frac{M_t}{W_{pl}} \cdot \beta_{kt} = \frac{684,25}{42,41} \cdot 1,25 = 20,17 \text{ N/mm}^2 \quad (52)$$

$$M_t = M_B = 684,25 \text{ N/mm}^2 \quad (53)$$

$$W_{p1} = \frac{\pi}{16} \cdot d_1^3 = \frac{\pi}{16} \cdot 6^3 = 42,41 \text{ mm}^3 \quad (54)$$

$$\beta_{kt} \left( \frac{D}{d} = 1,7; \frac{\rho}{d} = 0,083; R_m = 340 \text{ N/mm}^2 \right) = 1,25 \quad (55)$$

Naprezanje na prijelazu segmenata  $d_2 / d_3$  iznosi:

$$\tau_{2,3} = \frac{M_t}{W_{p2}} \cdot \beta_{kt} = \frac{684,25}{196,35} \cdot 1,9 = 6,62 \text{ N/mm}^2 \quad (56)$$

$$W_{p2} = \frac{\pi}{16} \cdot d_2^3 = \frac{\pi}{16} \cdot 10^3 = 196,35 \text{ mm}^3 \quad (57)$$

$$\beta_{kt} \left( \frac{D}{d} = 1,4; \frac{\rho}{d} = 0,01; R_m = 340 \text{ N/mm}^2 \right) = 1,9 \quad (58)$$

Naprezanje presjeka A-A iznosi:

$$\tau_{A-A} = \frac{M_t}{W_{p,A-A}} \cdot \beta_{kt} = \frac{684,25}{112,7} \cdot 1,8 = 10,93 \text{ N/mm}^2 \quad (59)$$

$$W_{p,A-A} = \frac{\pi}{16} \cdot d_{t1}^3 = \frac{\pi}{16} \cdot 8,3^3 = 112,27 \text{ mm}^3 \quad (60)$$

$$\beta_{kt} (\rho = 0,1; R_m = 340 \text{ N/mm}^2) = 1,8 \quad (61)$$

Torzijsko naprezanje presjeka B-B iznosi:

$$\tau_{B-B} = \frac{M_t}{W_{p,B-B}} \cdot \beta_{kt} = \frac{684,25}{173,72} \cdot 1,8 = 7,09 \text{ N/mm}^2 \quad (62)$$

$$W_{p,B-B} = \frac{\pi}{16} \cdot d_{t2}^3 = \frac{\pi}{16} \cdot 9,6^3 = 173,72 \text{ mm}^3 \quad (63)$$



$$\beta_{kt}(\rho = 0,1; R_m = 340 \text{ N/mm}^2) = 1,8 \quad (64)$$

Reducirano naprezanje presjeka B-B prema [2] iznosi:

$$\sigma_{\text{red}} = \sqrt{\sigma_{f,B-B}^2 + (3\alpha_0^2)\tau_{B-B}^2} = \sqrt{1,86^2 + (3 \cdot 0,7^2)7,09^2} \approx 16 \text{ N/mm}^2 \quad (65)$$

$$\sigma_{f,B-B} = \frac{M_{f,\text{max}}}{W_{r,B-B}} \cdot \beta_{kf} = \frac{200,72}{172,8} \cdot 1,6 = 1,86 \text{ N/mm}^2 \quad (66)$$

$$M_{f,\text{max}} = F_{C,r} \cdot l_4 = 10,62 \cdot 18,9 = 200,72 \text{ Nmm} \quad (67)$$

$$W_{r,B-B} \approx 0,1 \cdot d_4^3 = 0,1 \cdot 12^3 = 172,8 \text{ mm}^3 \quad (68)$$

$$\beta_{kf}(\text{oblik B; } R_m = 340 \text{ N/mm}^2) = 1,6 \quad (69)$$

$$\alpha_0(\text{naizmjenično savijanje, istosmjerna torzija}) = 0,7 \quad (70)$$

Bočni tlak utora za pero segmenta  $d_2$  iznosi:

$$p_A = \frac{4M_t}{h_1 \cdot l_{t1} \cdot d_2} = \frac{4 \cdot 684,25}{3 \cdot 7 \cdot 10} = 13,03 \text{ N/mm}^2 \quad (71)$$

Bočni tlak utora za pero segmenta  $d_2$  iznosi:

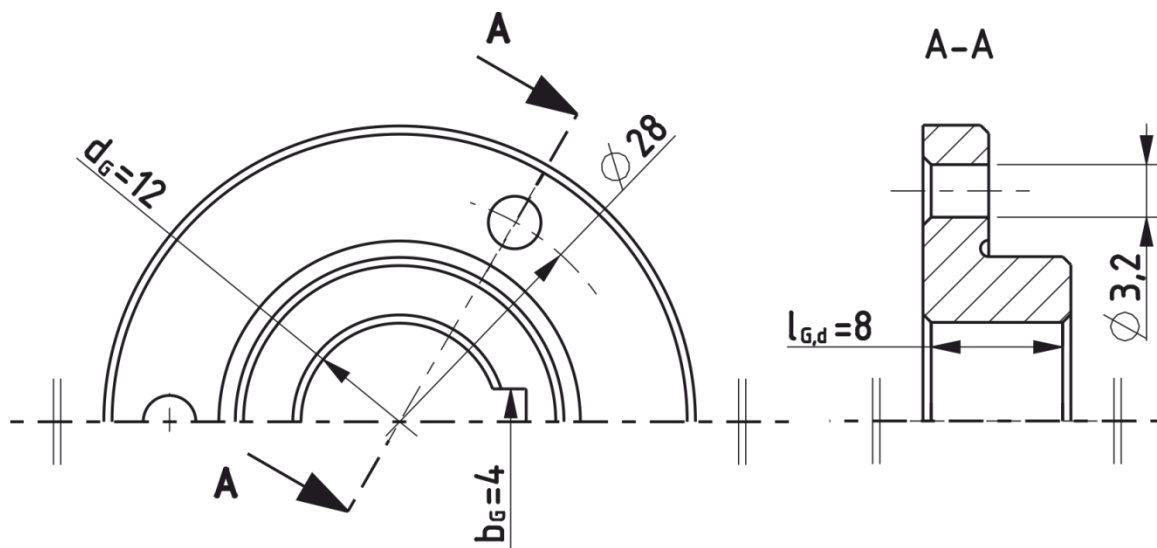
$$p_B = \frac{4M_t}{h_2 \cdot l_{t2} \cdot d_4} = \frac{4 \cdot 684,25}{4 \cdot 4 \cdot 12} = 14,26 \text{ N/mm}^2 \quad (72)$$

### 8.1.8. Proračun glavine

Glavina bubnja opterećena je momentom uvijanja  $M_t$  i momentom savijanja  $M_G$  prema slici 41. Moment savijanja  $M_G$  i reakcija  $F_G$  uzrokuju površinski pritisak u dosjedu s vratilom, te je potrebno izvršiti kontrolu pritiska na mjestu utora za pero, gdje je zbog smanjene dosjedne površine moment otpora najmanji. Iz uvjeta ravnoteže prema slici 41 slijedi:

$$\Sigma F_r = 0: F_G + F_C = 0 \rightarrow F_G = -F_C = 10,62 \text{ N} \quad (73)$$

$$\Sigma M_G = 0: \quad M_G = -F_C \cdot l_4 = 10,62 \cdot 18,9 = 200,72 \text{ Nmm} \quad (74)$$



Slika 42. Glavina

Pritisak uslijed momenta savijanja iznosi:

$$p_{f,\max} = \frac{M_G}{W_{G,\min}} = \frac{200,72}{85,33} = 2,35 \text{ N/mm}^2 \quad (75)$$

$$W_{G,\min} = \frac{I_1 - I_2}{e_{\max}} = \frac{512 - 170,7}{4} = 85,33 \text{ mm}^3 \quad (76)$$

$$I_1 = \frac{d_4 \cdot l_{G,d}^3}{12} = \frac{12 \cdot 8^3}{12} = 512 \text{ mm}^4 \quad (77)$$

$$I_2 = \frac{b_G \cdot l_{G,d}^3}{12} = \frac{4 \cdot 8^3}{12} = 170,7 \text{ mm}^4 \quad (78)$$

$$e_{\max} = \frac{l_{G,d}}{2} = \frac{8}{2} = 4 \text{ mm} \quad (79)$$

Pritisak uslijed reakcije  $F_G$  iznosi:

$$p_F = \frac{F_G}{A_{G,\min}} = \frac{10,62}{64} = 0,17 \text{ N/mm}^2 \quad (80)$$

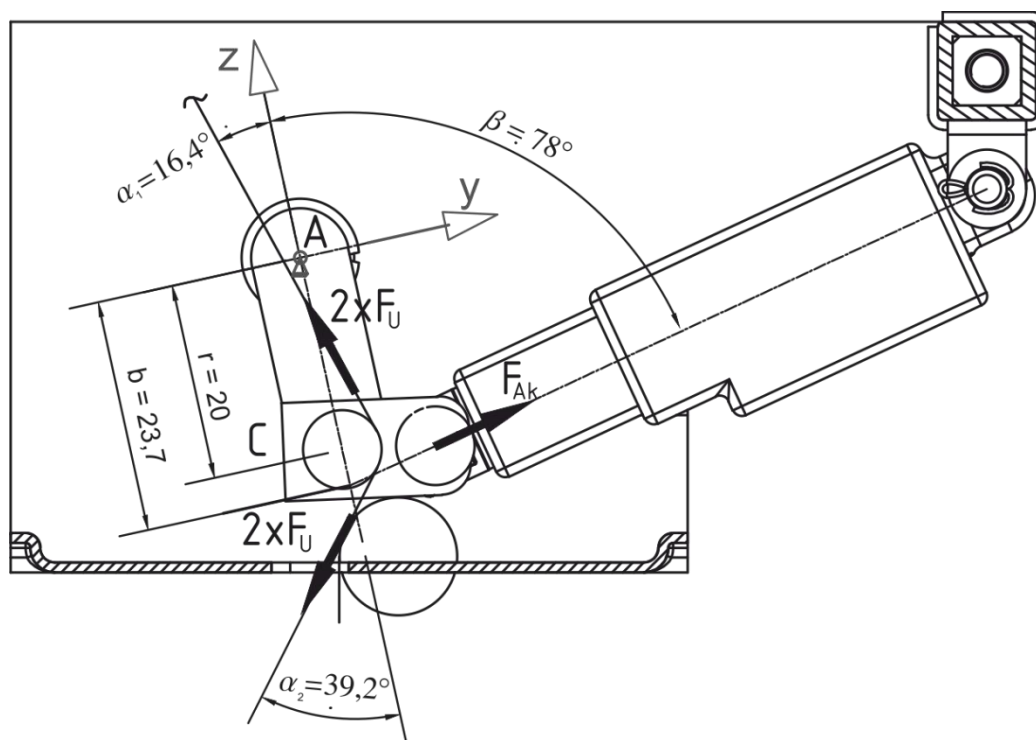
$$A_{G,\min} = l_{G,d} (d_4 - b_G) = 8(12 - 4) = 64 \text{ mm}^2 \quad (81)$$

Najveći pritisak iznosi:

$$p_{\max} = p_{f,\max} + p_F = 2,35 + 0,17 = 2,52 \text{ N/mm}^2 \quad (82)$$

## 8.2. Proračun mehanizma za odsijecanje užeta

Mehanizam za odsijecanje užeta opterećen je silama kojima uže djeluje na vodilicu. Vodilica je uležištena na dva klizna ležaja, a zakret vodilice oko okretne osi je određen položajem aktuatora. Najveća resultantna sila kojom uže djeluje na vodilicu javlja se kada je mehanizam u položaju za odsijecanje, budući da je u tom slučaju kut kojeg međusobno zatvaraju krajevi užeta previnutog oko vodilice najmanji. Na slici 43. prikazan je mehanizam u položaju za odsijecanje.



Slika 43. Opterećenje mehanizma za odsijecanje užeta

Prema katalogu proizvođača najveća sila koju aktuator može zadržati je 80 N, te će ova sila biti mjerodavna za izračun svih ostalih sila u mehanizmu. Sila u užetu izračunata je iz uvjeta ravnoteže postavljanjem jednadžbe za sumu momenata oko točke A:

$$\sum M_A = 0; F_{Ak} \sin \beta \cdot b - 2F_U (\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2) \cdot r = 0 \quad (83)$$

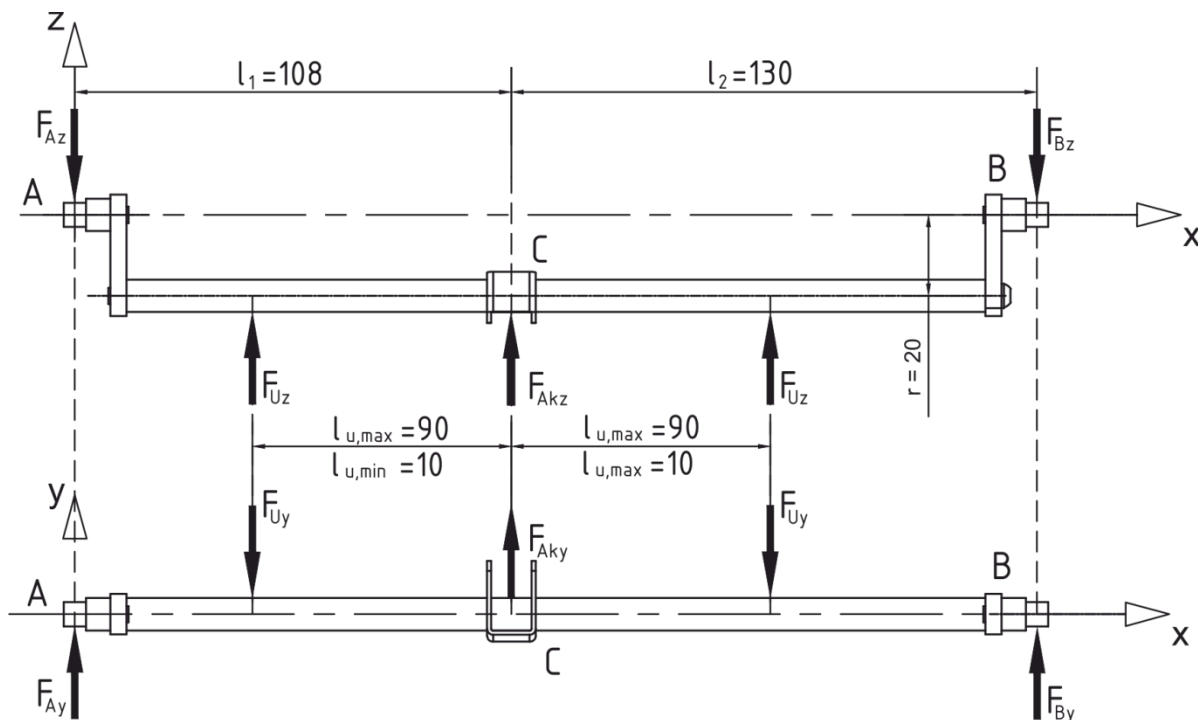
$$F_U = 0,5 \cdot F_{Ak} \cdot \frac{b \sin \beta}{r(\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2)} = 0,5 \cdot 80 \cdot \frac{23,7 \sin 78^\circ}{20(\sin 16,4^\circ + \sin 39,2^\circ)} = 50,7 \text{ N} \quad (84)$$

### 8.2.1. Kontrola naprezanja vodilice užeta

Vodilica užeta opterećena je momentom savijanja  $M_y$  i  $M_z$ . Kritični presjek nalazi se na spojištu s aktuatorom gdje oba momenta savijanja poprimaju vršne vrijednosti. Za potrebe izračuna reakcija u osloncima A i B, moguće je djelovanje sila u užetu superponirati na točku C.

$$\sum F_z = 0; F_{Akz} + 2F_{Uz} - F_{Az} - F_{Bz} = 0 \quad (85)$$

$$\sum M_A = 0; (F_{Akz} + 2F_{Uz})l_1 - F_{Bz}(l_1 + l_2) = 0 \quad (86)$$



Slika 44. Opterećenje vodilice

$$F_{Bz} = \frac{(F_{Akz} + 2F_{Uz})l_1}{(l_1 + l_2)} = \frac{(16,63 + 2 \cdot 9,35) \cdot 108}{(108 + 130)} = 16 \text{ N} \quad (87)$$

$$F_{Az} = 2F_{Uz} + F_{Akz} - F_{Bz} = 2 \cdot 9,35 + 16,63 - 16 = 19,3 \text{ N} \quad (88)$$

$$F_{Akz} = F_{Ak} \cos \beta = 80 \cdot \cos 78^\circ = 16,63 \text{ N} \quad (89)$$

$$F_{Uz} = F_U (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) = 50,7 \cdot (\cos 16,4^\circ - \cos 39,2^\circ) = 9,35 \text{ N} \quad (90)$$

$$\sum F_y = 0; \quad F_{Aky} - 2F_{Uy} + F_{Ay} + F_{By} = 0 \quad (91)$$

$$\sum M_A = 0; \quad (F_{Aky} - 2F_{Uy})l_1 + F_{By}(l_1 + l_2) = 0 \quad (92)$$

$$F_{By} = \frac{(F_{Aky} - 2F_{Uy})l_1}{(l_1 + l_2)} = \frac{(78,28 - 2 \cdot 50,7) \cdot 108}{(108 + 130)} = -10,5 \text{ N} \quad (93)$$

$$F_{Ay} = -F_{Aky} + 2F_{Uy} + F_{By} = -78,25 + 2 \cdot 46,36 - 10,5 = 3,97 \text{ N} \quad (94)$$

$$F_{Aky} = F_{Ak} \sin \beta = 80 \cdot \sin 78^\circ = 78,25 \text{ N} \quad (95)$$

$$F_{Uy} = F_U (\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2) = 50,7 \cdot (\sin 16,4^\circ + \sin 39,2^\circ) = 46,36 \text{ N} \quad (96)$$

Moment savijanja u točki C za opći slučaj iznosi:

$$M_C = \sqrt{M_{Cy}^2 + M_{Cz}^2} \quad (97)$$

$$M_{Cz} = F_{By}l_2 - F_{Uy}l_u \quad (98)$$

$$M_{Cy} = -F_{Bz}l_2 + F_{Uz}l_u \quad (99)$$

Vrijednost ukupnog momenta savijanja biti će najveća u slučaju kada je uža u potpunosti odmotano, odnosno za slučaj  $l_u = l_{u,max}$ .

$$M_C = \sqrt{M_{Cy}^2 + M_{Cz}^2} = \sqrt{(-1238,5)^2 + (-5537,4)^2} = 5674,21 \text{ Nmm} \quad (100)$$

$$M_{Cz} = F_{By} l_2 - F_{Uy} l_{u,\max} = -10,5 \cdot 130 - 46,36 \cdot 90 = -5537,4 \text{ Nmm} \quad (101)$$

$$M_{Cy} = -F_{Bz} l_2 + F_{Uz} l_{u,\max} = -16 \cdot 130 + 9,35 \cdot 90 = -1238,5 \text{ Nmm} \quad (102)$$

Svojno naprezanje vodilice u tom slučaju iznosi:

$$\sigma_{f,\max} = \frac{M_{f,\max}}{0,1 \cdot d_v^3} = \frac{5674,21}{0,1 \cdot 8^3} = 110,82 \text{ N/mm}^2 \quad (103)$$

$$S = \frac{R_e}{\sigma_{f,\max}} = \frac{250}{110,82} = 2,25 \text{ zadovoljava!} \quad (104)$$

### 8.2.2. Kontrola naprezanja nosača aktuatora

Nosač aktuatora opterećen je svojom silom  $F_{Ak}$ . Prema [3] najveća vrijednost momenta savijanja javlja se na mjestu djelovanja sila i iznosi:

$$M_{f,\max} = \frac{F_{Ak} \cdot l_1 \cdot l_2}{l_1 + l_2} = \frac{80 \cdot 108 \cdot 130}{108 + 130} = 4719,33 \text{ Nmm} \quad (105)$$

Naprezanje nosača u tom slučaju iznosi:

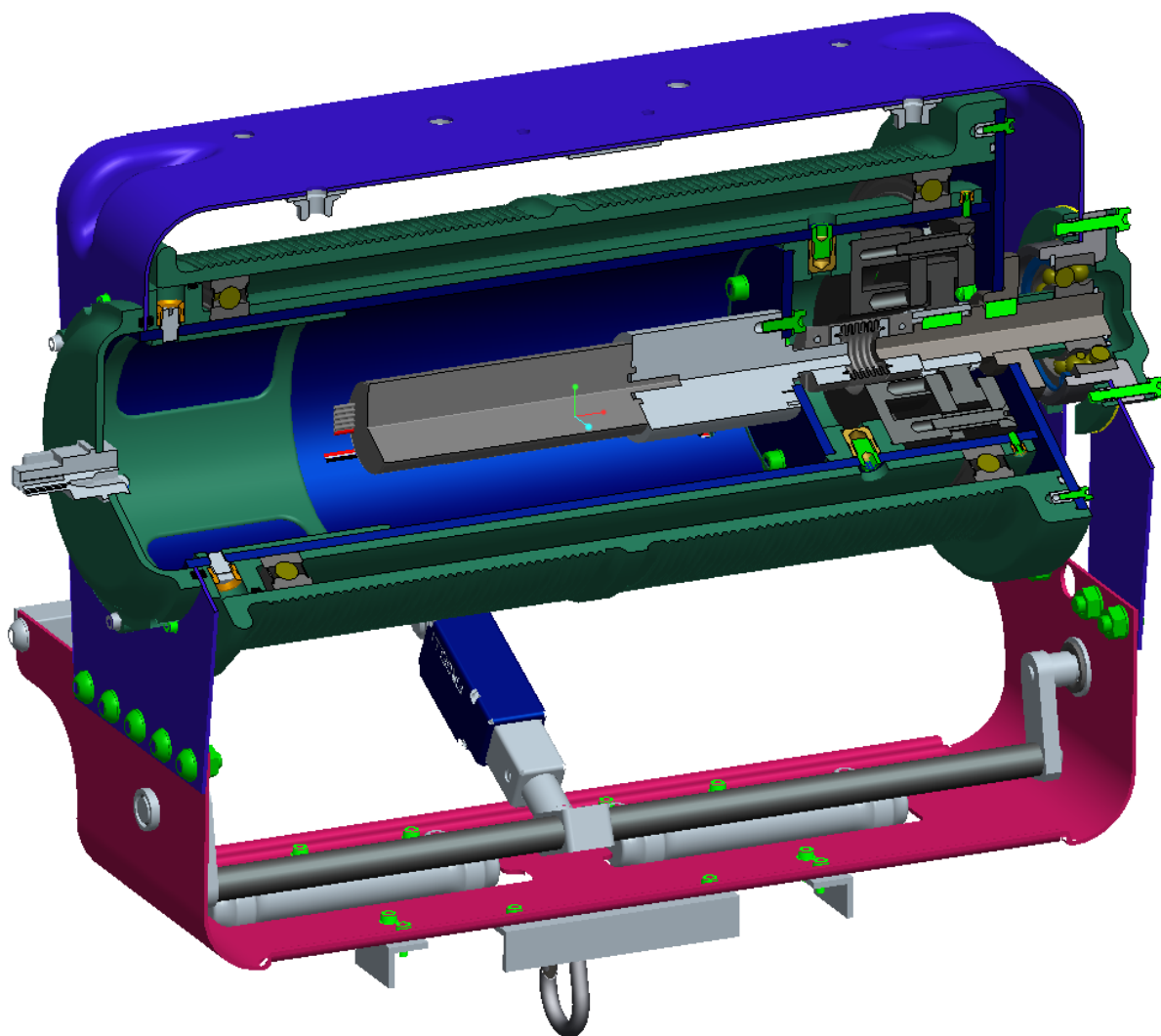
$$\sigma_{f,\max} = \frac{M_{f,\max}}{W_y} = \frac{4719,33}{1519,8} = 3,11 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_{\text{dop}} \text{ zadovoljava!} \quad (106)$$

$$W_y = \frac{2I_y}{a_v} = \frac{2 \cdot 7599}{10} = 1519,8 \text{ mm}^3 \quad (107)$$

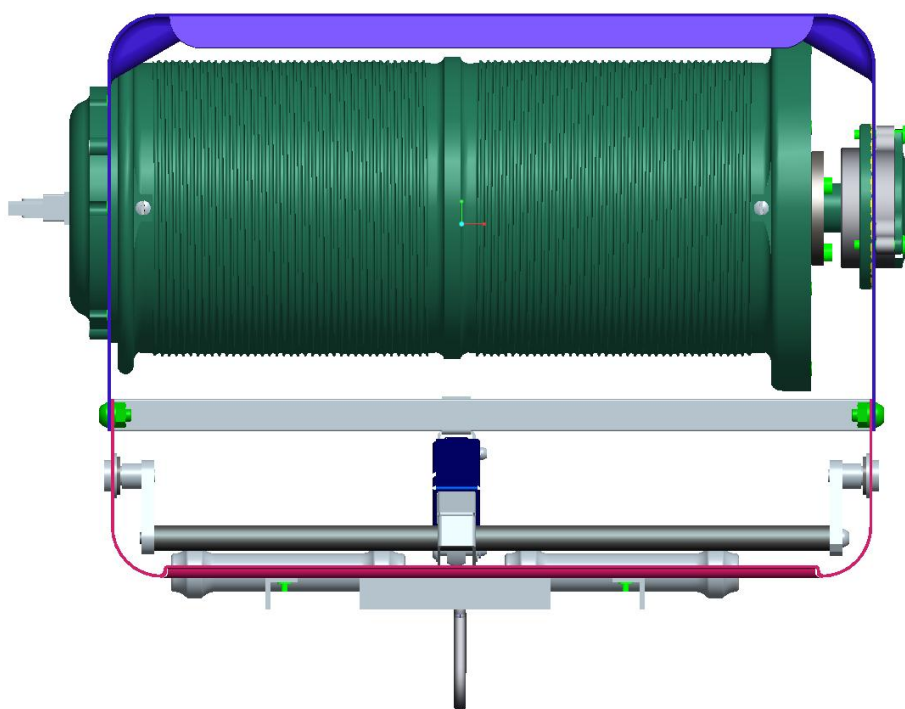
$$I_y = \frac{a_v^4 - a_u^4}{12} = \frac{10^4 - 7^4}{12} = 7599 \text{ mm}^4 \quad (108)$$

## 9. PRIKAZ 3D MODELA

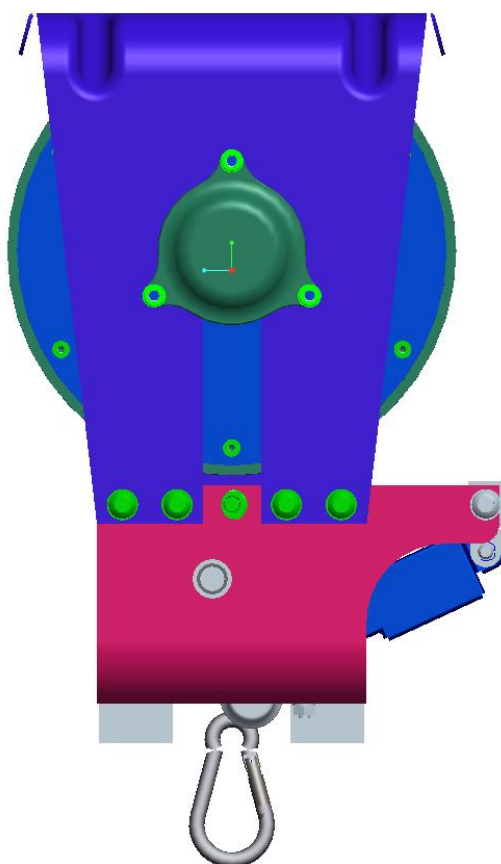
U ovom poglavlju prikazan je računalni 3D model uređaja, izrađen pomoću softverskog paketa Pro/ENGINEER na temelju razrade odabranog konstrukcijskog rješenja.



Slika 45. Prikaz uređaja u djelomičnom presjeku

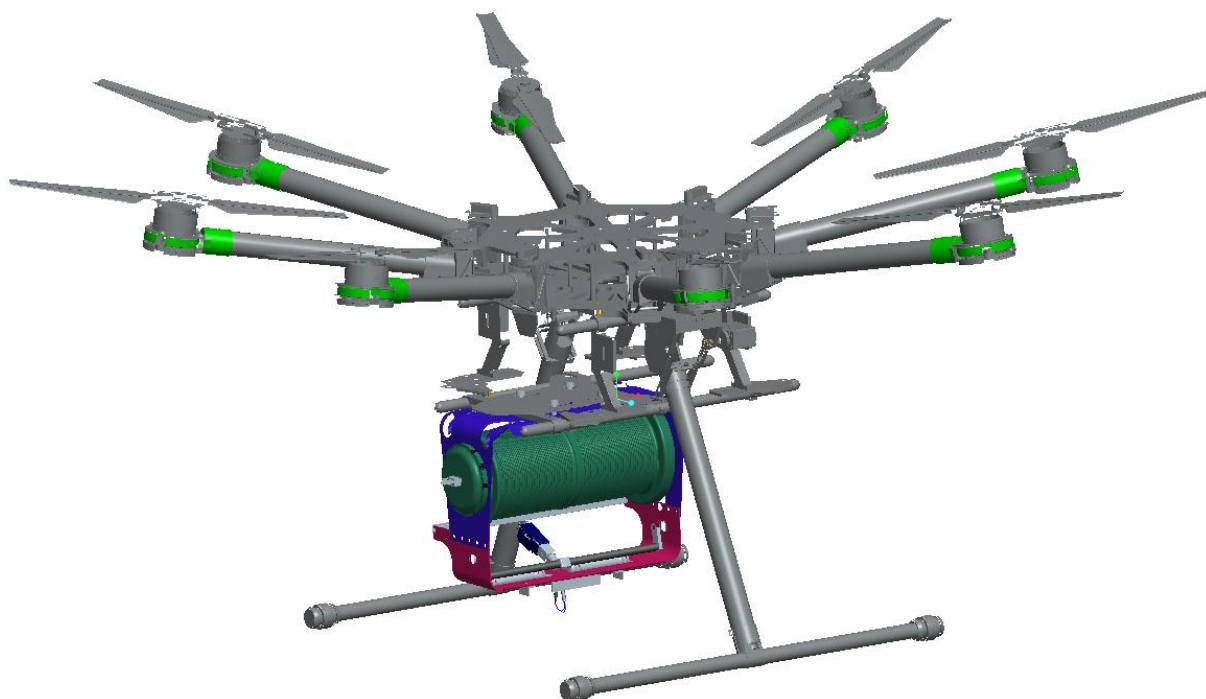


Slika 46. Prikaz uređaja s prednje strane

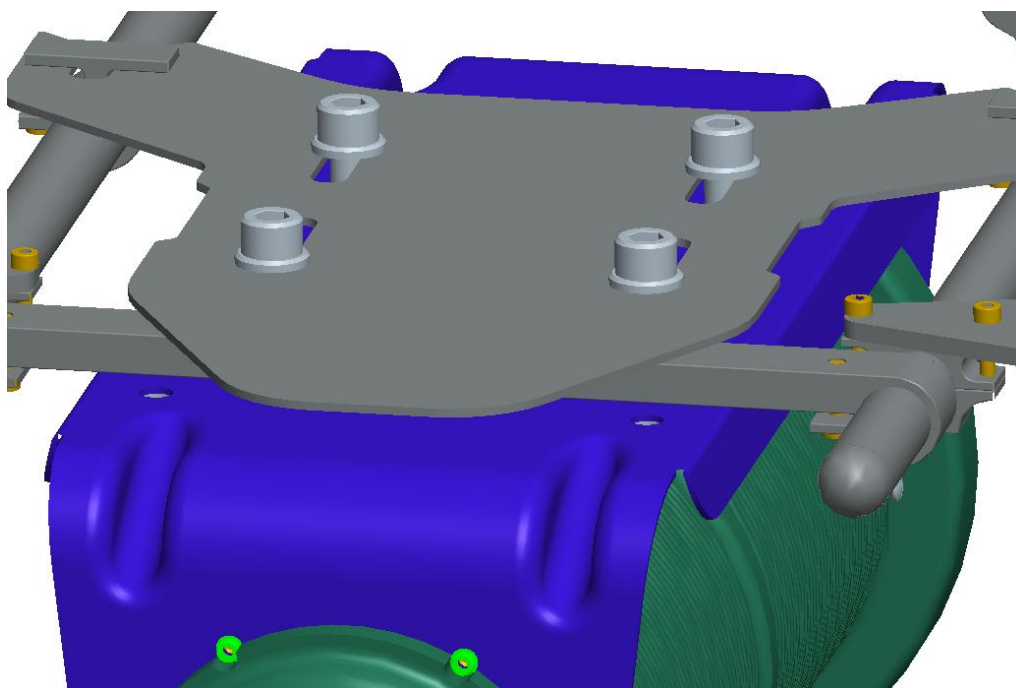


Slika 47. Prikaz uređaja s bočne strane





**Slika 48. Prikaz uređaja ovješnog na letjelicu DJI S1000**



**Slika 49. Detalj spoja uređaja na montažnu ploču letjelice**

## 10. ZAKLJUČAK

Ovim radom prikazan je razvoj uređaja za prijenos tereta bespilotnim letjelicama. Cilj rada bio je osmisliti uređaj kojim se proširila funkcionalnost bespilotnih letjelica dostupnih na tržištu. Provedena je analiza postojećih rješenja te su pomoću metode tehničkog upitnika definirani ciljevi razvoja proizvoda. Na temelju izrađene morfološke matrice generirana su dva koncepta, te je odabran koncept za daljnju konstrukcijsku razradu. Izrađen je 3D model konstrukcije pomoću kojeg je izrađena i kompletna tehnička dokumentacija, uključujući i izradu tehničke dokumentacije za sve nenormirane dijelove do razine radioničkih crteža te proračun svih bitnih komponenti konstrukcije.

Pri konstrukciji uređaja prednost je dana materijalima male specifične mase i velike specifične čvrstoće, u prvom redu ugljičnom kompozitu, a zatim polimernim materijalima i samo na djelovima konstrukcije gdje je ocijenjeno kao neophodno, aluminiju. Udio čelika u konstrukciji sveden je na sitne standardne dijelove - vijke, uskočnike, svornjake isl.

Naglasak je stavljen i na mogućnost upotrebe uređaja na što više modela letjelica, te je u tu svrhu ostvaren kontakt sa svim proizvođačima bespilotnih letjelica koji u svojoj ponudi imaju modele letjelica odgovarajućih karakteristika.

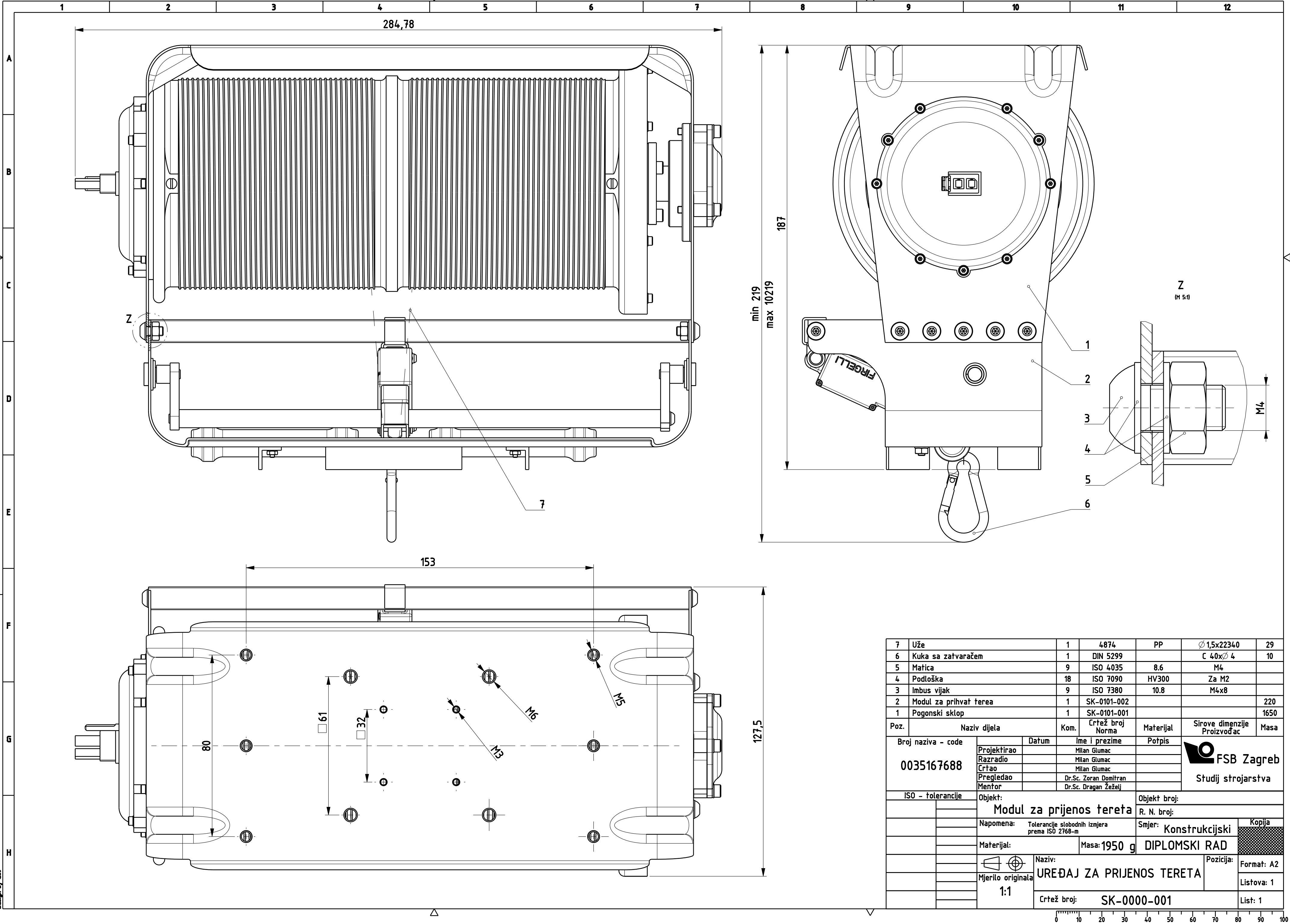
Daljnjim razvojem proizvoda moguća su potencijalna poboljšanja u pogledu poboljšane efikasnosti i proširenja funkcionalnosti uređaja.

## LITERATURA

- [1] Ščap, D.: Transportni uređaji (podloge uz predavanja), Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb, 2004.
- [2] Decker, K. H.: Elementi strojeva, Tehnička knjiga Zagreb, 1975.
- [3] Kraut, B.: Strojarski priručnik, Tehnička knjiga Zagreb, 1976.
- [4] Horvat, Z.: Vratilo (Proračun), Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb
- [5] Firgelli - Katalog aktuatora: <http://www.firgelli.com>
- [6] Cousin Trestec – Katalog užadi: <http://www.cousin-trestec.com/>
- [7] Faulhaber Drive Systems – Katalog elektomotora, 2016.
- [8] Ruland - Katalog spojki: <http://www.ruland.com>
- [9] Intorq – Katalog elektromagnetnih kočnica: <http://www.intorq.com>
- [10] SKF – Katalog valjnih ležajeva: <http://www.skf.com>
- [11] Strojopromet – Katalog poluproizvoda: [www.strojopromet.com/](http://www.strojopromet.com/)
- [12] Danotherm – Katalog otpornika: [www.danotherm.dk](http://www.danotherm.dk)
- [13] Parker – Katalog brtvi: <https://www.parker.com/>
- [14] Seeger-Orbis – Katalog uskočnika: [www.seeger-orbis.com](http://www.seeger-orbis.com)
- [15] Reyher – Katalog vijčane robe: [www.reyher.de](http://www.reyher.de)

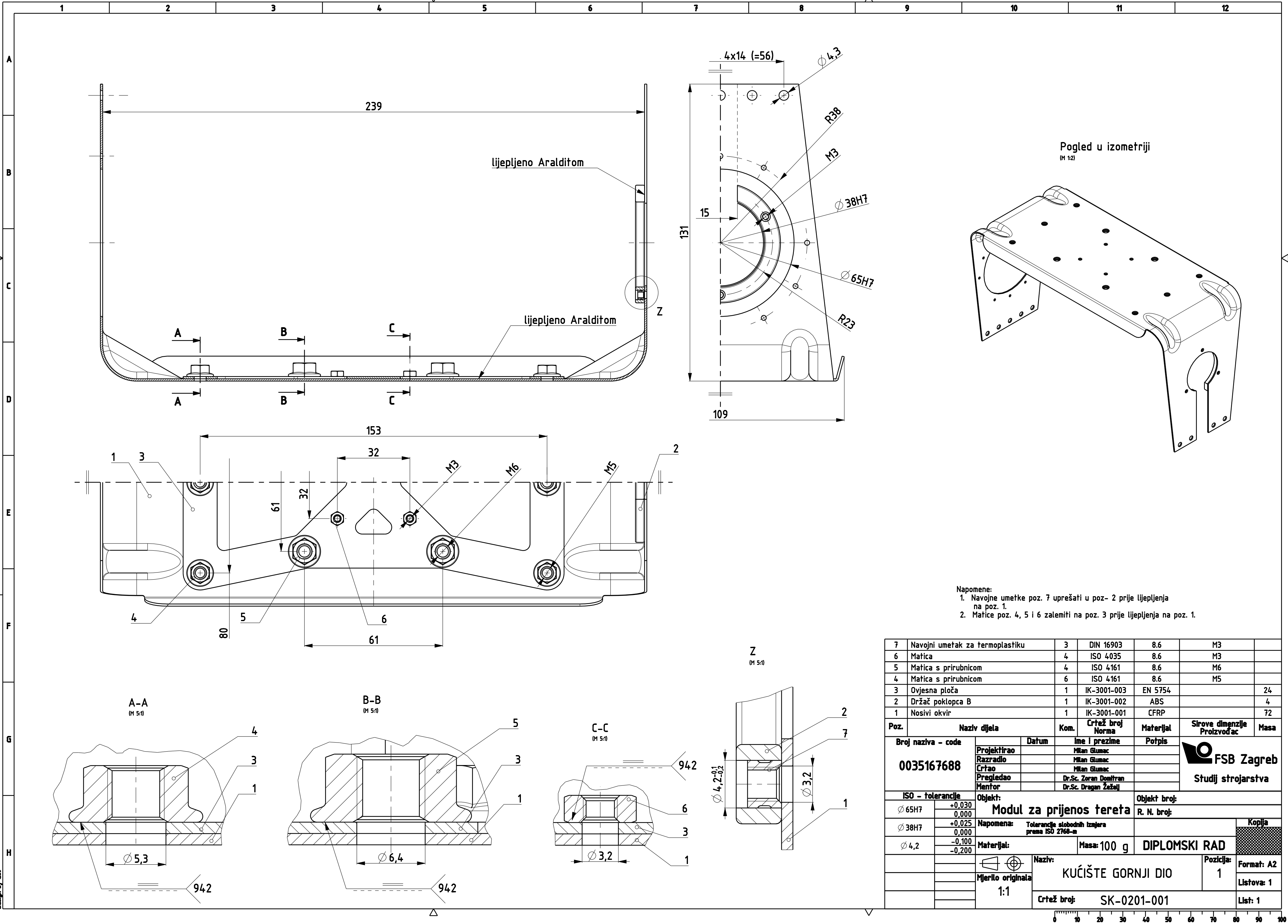
## **PRILOZI**

- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija




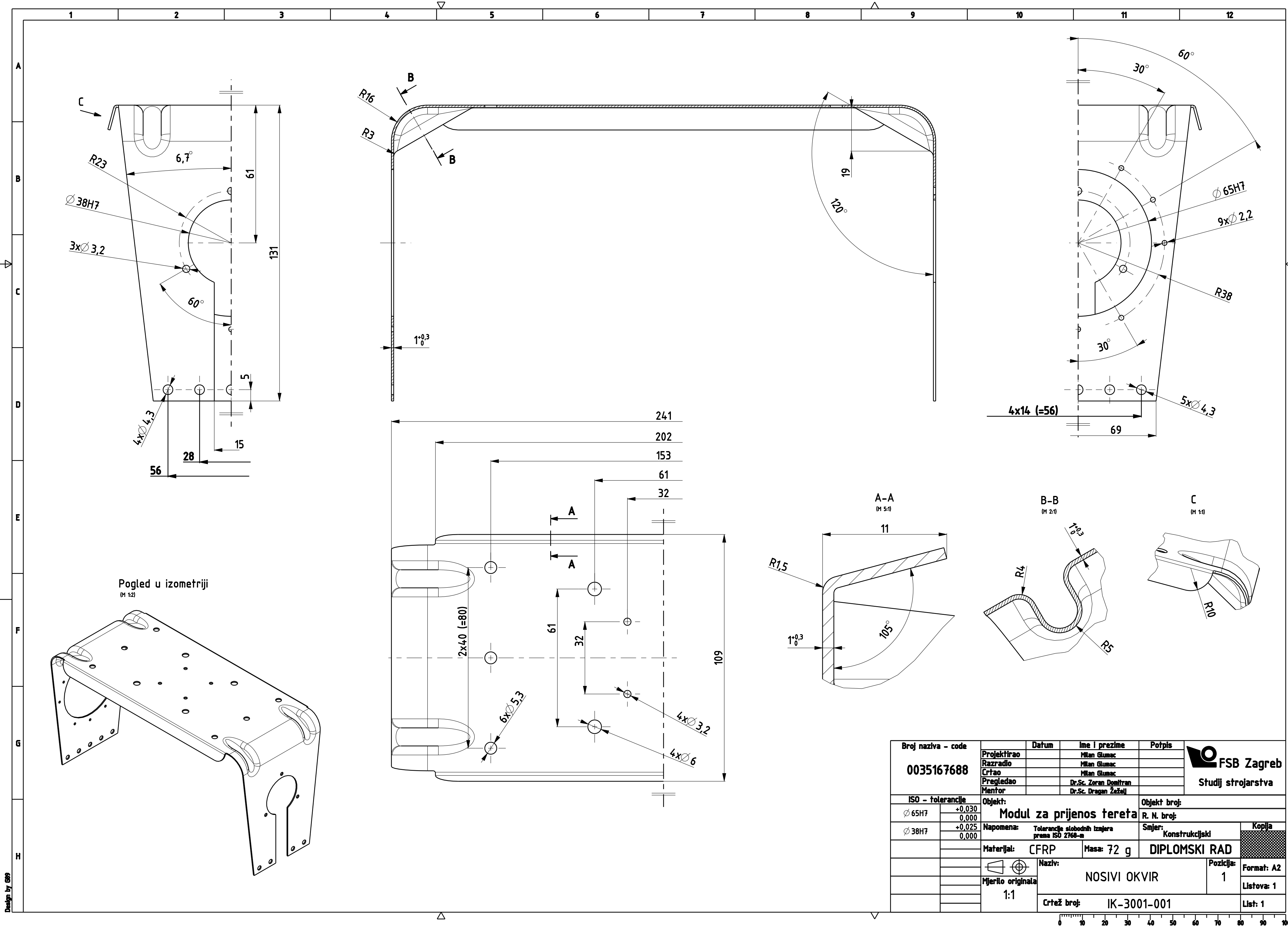





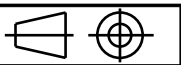


Napomene:  
1. Navojne umetke poz. 7 uprešati u poz. 2 prije lijepljenja na poz. 1.  
2. Matice poz. 4, 5 i 6 zalemiti na poz. 3 prije lijepljenja na poz. 1.

7	Navojni umetak za termoplastiku	3	DIN 16903	8.6	M3		
6	Matica	4	ISO 4035	8.6	M3		
5	Matica s prirubnicom	4	ISO 4161	8.6	M6		
4	Matica s prirubnicom	6	ISO 4161	8.6	M5		
3	Ovjesna ploča	1	IK-3001-003	EN 5754		24	
2	Držač poklopca B	1	IK-3001-002	ABS		4	
1	Nosivi okvir	1	IK-3001-001	CFRP		72	
Poz.	Naziv dijela		Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa
Broj naziva - code			Datum	Ime i prezime	Potpis	<div> FSB Zagreb</div> <div>Studij strojarstva</div>	
0035167688		Projektirao		Milan Glumac			
		Razradio		Milan Glumac			
		Crtao		Milan Glumac			
		Pregledao		Dr.Sc. Zoran Domitran			
		Mentor		Dr.Sc. Dragan Zezelj			
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:		
Ø 65H7	+0.030 0.000	Modul za prijenos tereta			R. N. broj:		
Ø 38H7	+0.025 0.000	Napomena: Tolerancije slobodnih izmjera prema ISO 2768-m			Kopija		
Ø 4,2	-0.100 -0.200	Materijal:					
					DIPLOMSKI RAD		

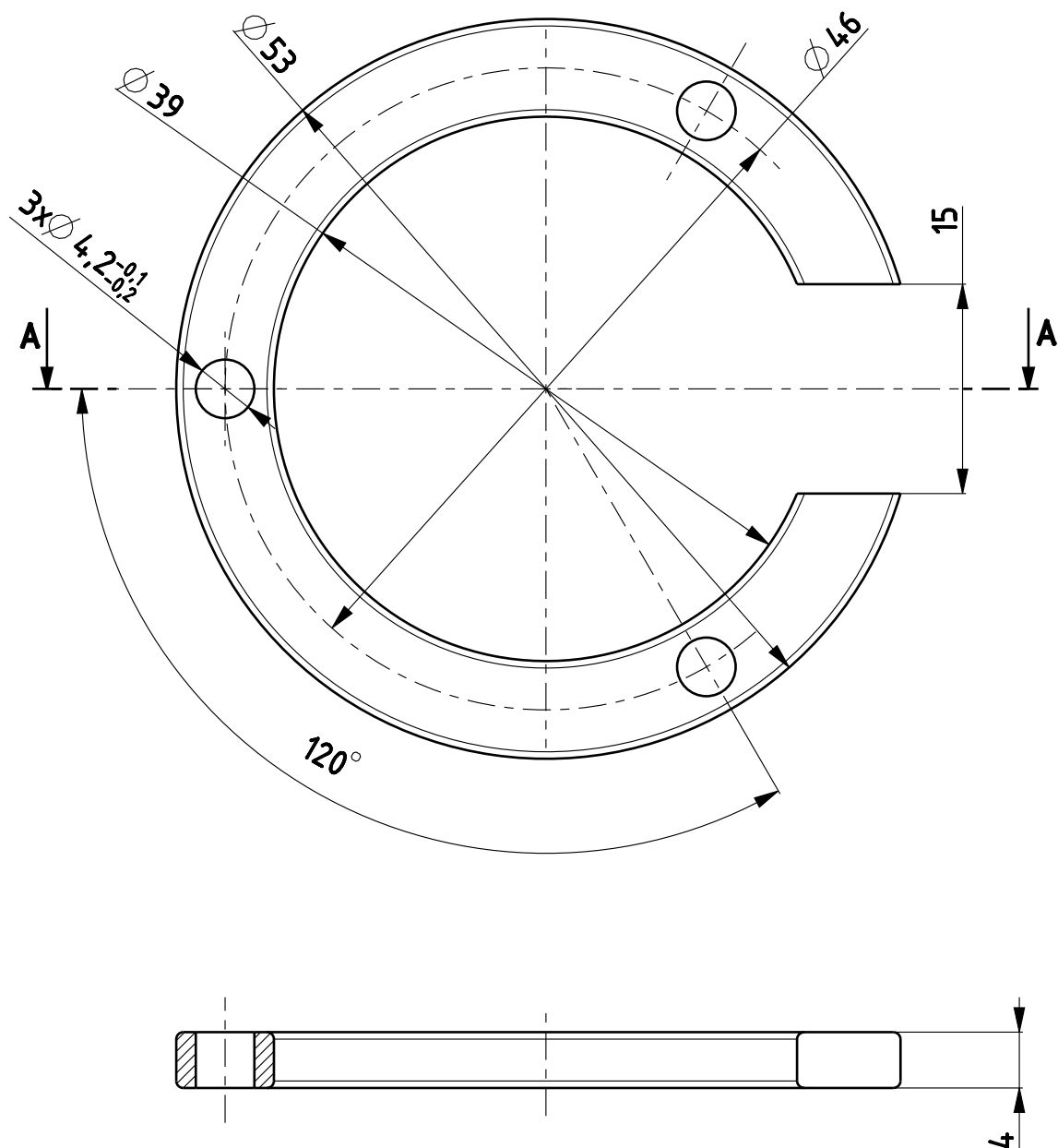



Pogled u izometriji  
(M 1:2)

Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 Studij strojarstva	
0035167688		Projektirao	Milan Glumac			
		Razradio	Milan Glumac			
		Crtao	Milan Glumac			
		Pregledao	Dr.Sc. Zoran Domitran			
		Mentor	Dr.Sc. Drogen Željeli			
ISO - tolerancije		Objekt:	Modul za prijenos tereta			Objekt broj:
Ø 65H7	+0,030 0,000				R. N. broj:	
Ø 38H7	+0,025 0,000	Napomena: Tolerancije slobodnih izmjera prema ISO 2768-m			Smjer: Konstrukcijski	
		Materijal: CFRP		Masa: 72 g	DIPLOMSKI RAD	
				Naziv: NOSIVI OKVIR		Pozicija: 1
		Mjerilo originala: 1:1		Crtež broj: IK-3001-001		Format: A2
						Listova: 1
						List: 1

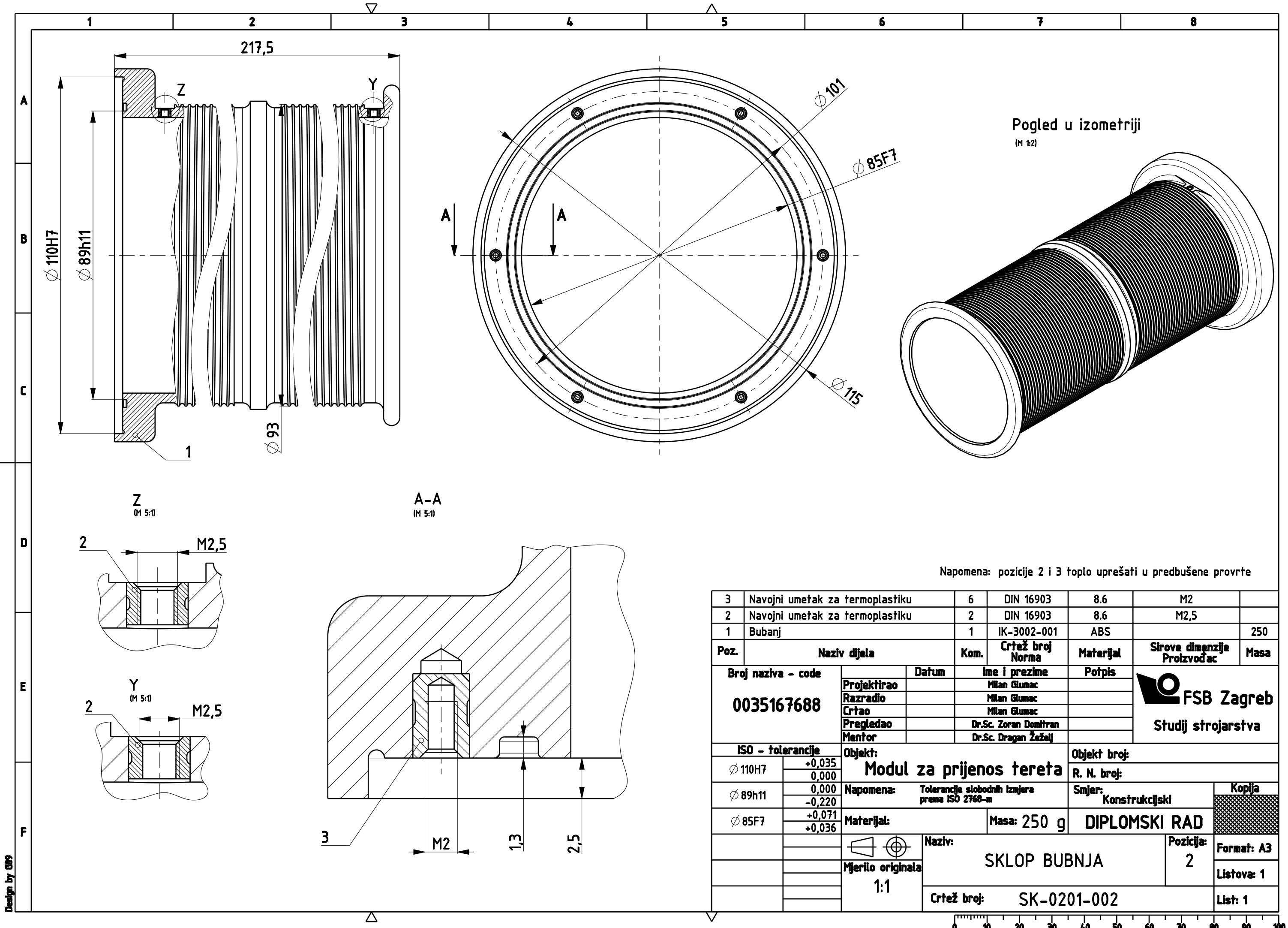


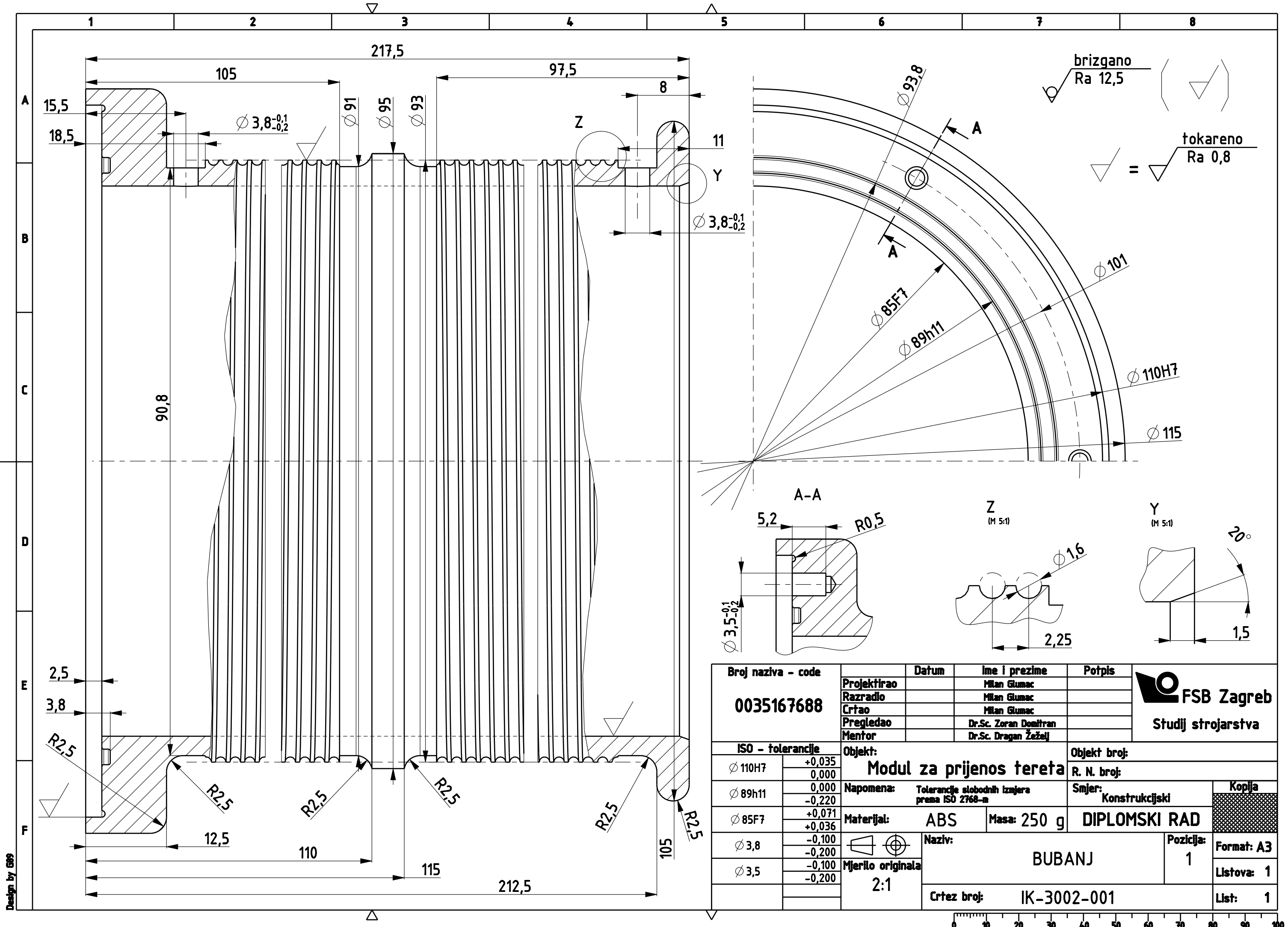
brizgano  
Ra 12,5


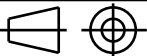


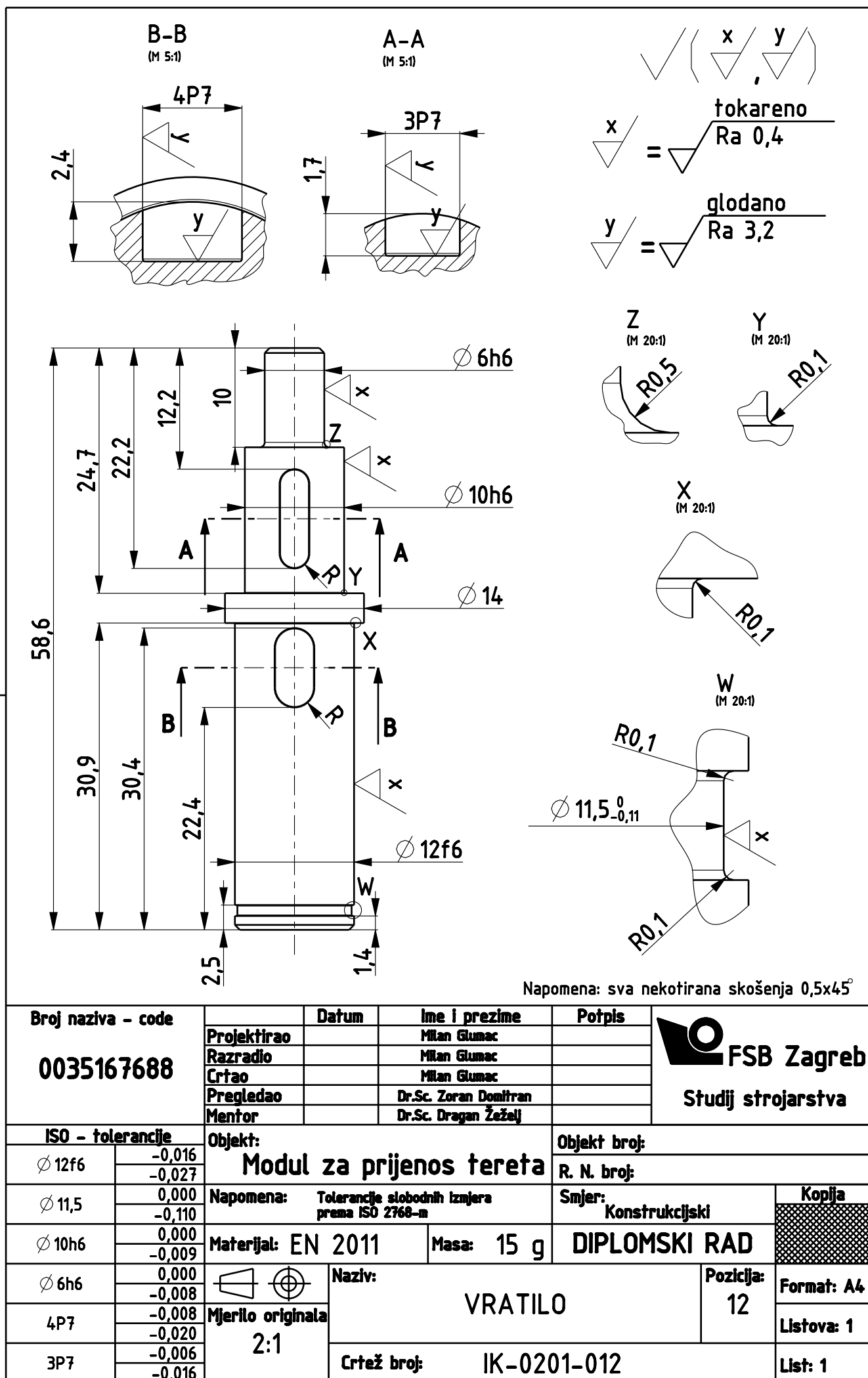
Broj naziva - code  <b>0035167688</b>		Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	 <b>FSB Zagreb</b> Studij strojarstva
		Razradio		Milan Glumac		
		Crtao		Milan Glumac		
		Pregledao		Dr.Sc. Zoran Domitran		
		Mentor		Dr.Sc. Dragan Žeželj		
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:	
Ø 4,2	-0,100 -0,200	Modul za prijenos tereta			R. N. broj:	
		Napomena: Tolerancije slobodnih izmjera prema ISO 2768-m			Smjer: Konstrukcijski	
		Materijal: ABS		Masa: 5 g	DIPLOMSKI RAD	
		Naziv: DRŽAČ POKLOPCA B			Pozicija: 2	
		Mjerilo originala 2:1			Format: A4	
		Crtež broj: IK-3001-002			Listova: 1	
					List: 1	


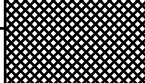







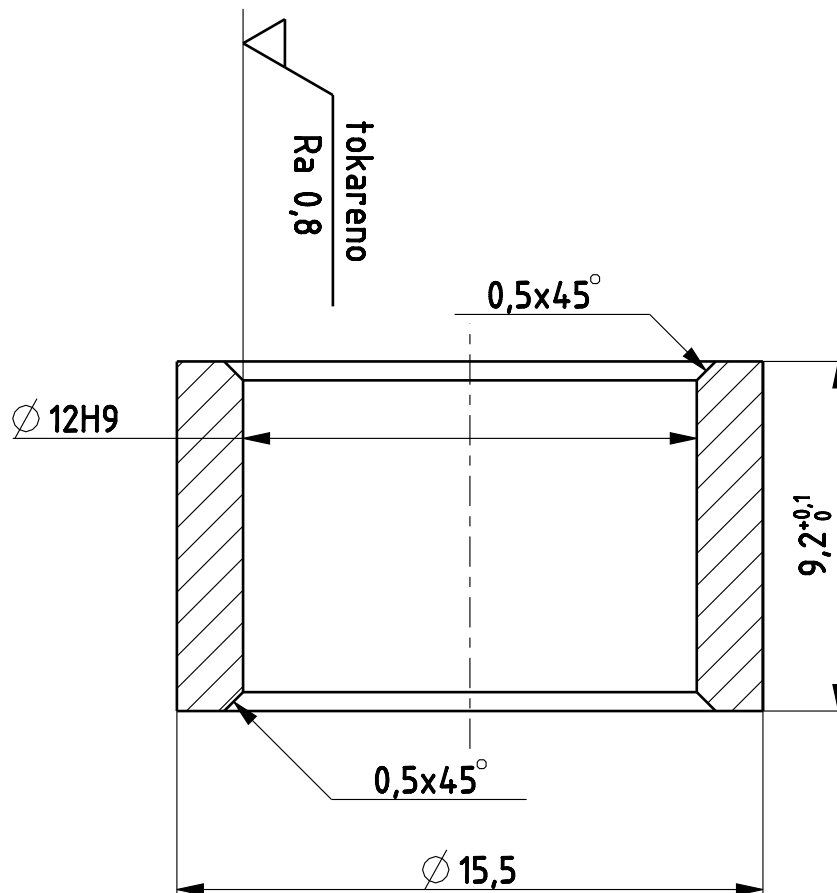
Broj naziva - code  0035167688		Datum		Ime i prezime		Potpis		<div> FSB Zagreb</div> <div>Studij strojarstva</div>	
		Projektirao		Milan Glumac					
		Razradio		Milan Glumac					
		Crtao		Milan Glumac					
		Pregledao		Dr.Sc. Zoran Domitran					
Mentor		Dr.Sc. Dragan Žeželj							
ISO - tolerancije		Objekt:				Objekt broj:			
Ø 110H7	+0,035	Modul za prijenos tereta				R. N. broj:			
	0,000								
Ø 89h11	0,000	Napomena: Tolerancije slobodnih izmjera prema ISO 2768-m				Smjer: Konstrukcijski		Kopija	
	-0,220								
Ø 85F7	+0,071	Materijal: ABS		Masa: 250 g		DIPLOMSKI RAD			
	+0,036								
Ø 3,8	-0,100	<div></div> <div>Naziv: BUBANJ</div>				Pozicija: 1		Format: A3	
	-0,200							Listova: 1	
Ø 3,5	-0,100	Mjerilo originala 2:1						List: 1	
	-0,200								




Broj naziva - code  0035167688			Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb  Studij strojarstva		
		Projektirao		Milan Glumac				
		Razradio		Milan Glumac				
		Crtao		Milan Glumac				
		Pregledao		Dr.Sc. Zoran Domitran				
Mentor		Dr.Sc. Dragan Žeželj						
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:			
Ø 12f6	-0,016	Modul za prijenos tereta			R. N. broj:			
	-0,027							
Ø 11,5	0,000	Napomena: Tolerancija slobodnih izmjera prema ISO 2768-m			Smjer: Konstrukcijski		Kopija	
	-0,110							
Ø 10h6	0,000	Materijal: EN 2011		Masa: 15 g	DIPLOMSKI RAD			
	-0,009							
Ø 6h6	0,000	 Naziv:			Pozicija: 12			Format: A4
	-0,008							Listova: 1
4P7	-0,008	Mjerilo originala 2:1			Crtež broj: IK-0201-012		List: 1	
	-0,020							
3P7	-0,006							
	-0,016							

brizgano  
Ra 12,5

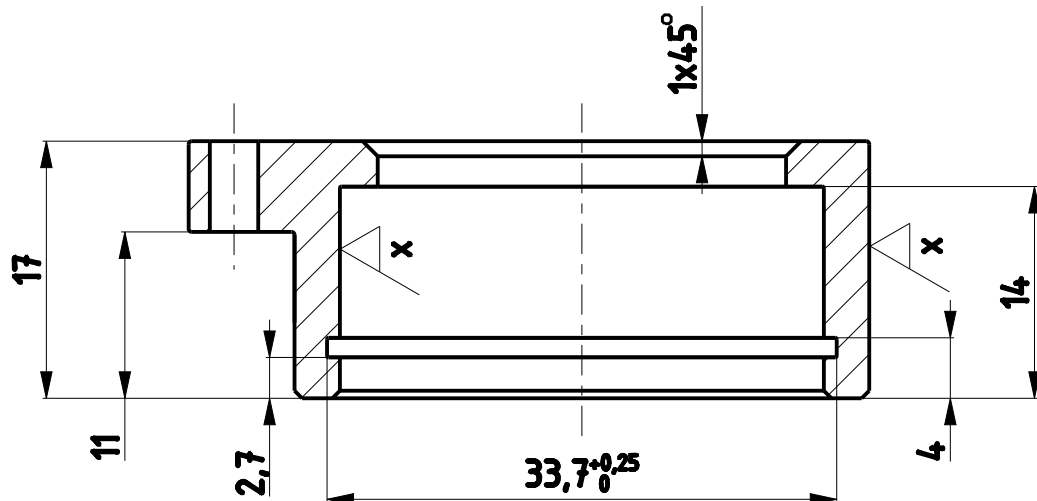
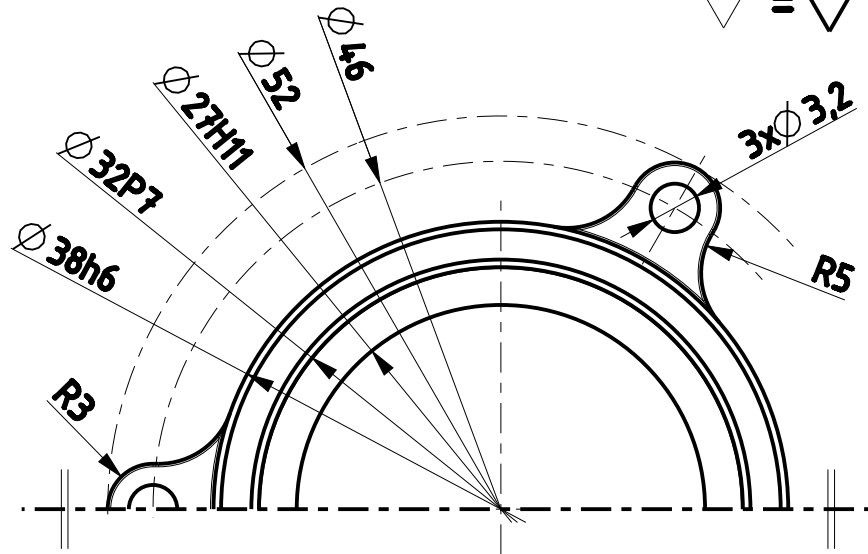
tokareno  
Ra 0,8




<b>Broj naziva - code</b>  <b>0035167688</b>		<b>Datum</b>	<b>Ime i prezime</b>	<b>Potpis</b>	 <b>FSB Zagreb</b> <b>Studij strojarstva</b>
		<b>Projektirao</b>	Milan Glumac		
		<b>Razradio</b>	Milan Glumac		
		<b>Crtao</b>	Milan Glumac		
		<b>Pregledao</b>	Dr.Sc. Zoran Domitran		
<b>ISO - tolerancije</b> $\varnothing 12H9$		<b>Objekt:</b>	<b>Modul za prijenos tereta</b>		
		<b>Objekt broj:</b>			
$+0,030$ $0,000$		<b>R. N. broj:</b>			
		<b>Napomena:</b>	Tolerancije slobodnih izmjera prema ISO 2768-m	<b>Smjer:</b>	Konstrukcijski
		<b>Materijal:</b>	ABS	<b>Masa:</b>	1 g
		<b>DIPLOMSKI RAD</b>			
		<b>Naziv:</b>	ODSTOJNIK VRATILA		
		<b>Pozicija:</b>	13		
		<b>Format:</b>	A4		
		<b>Listova:</b>	1		
		<b>List:</b>	1		

lijevano  
Ra 50

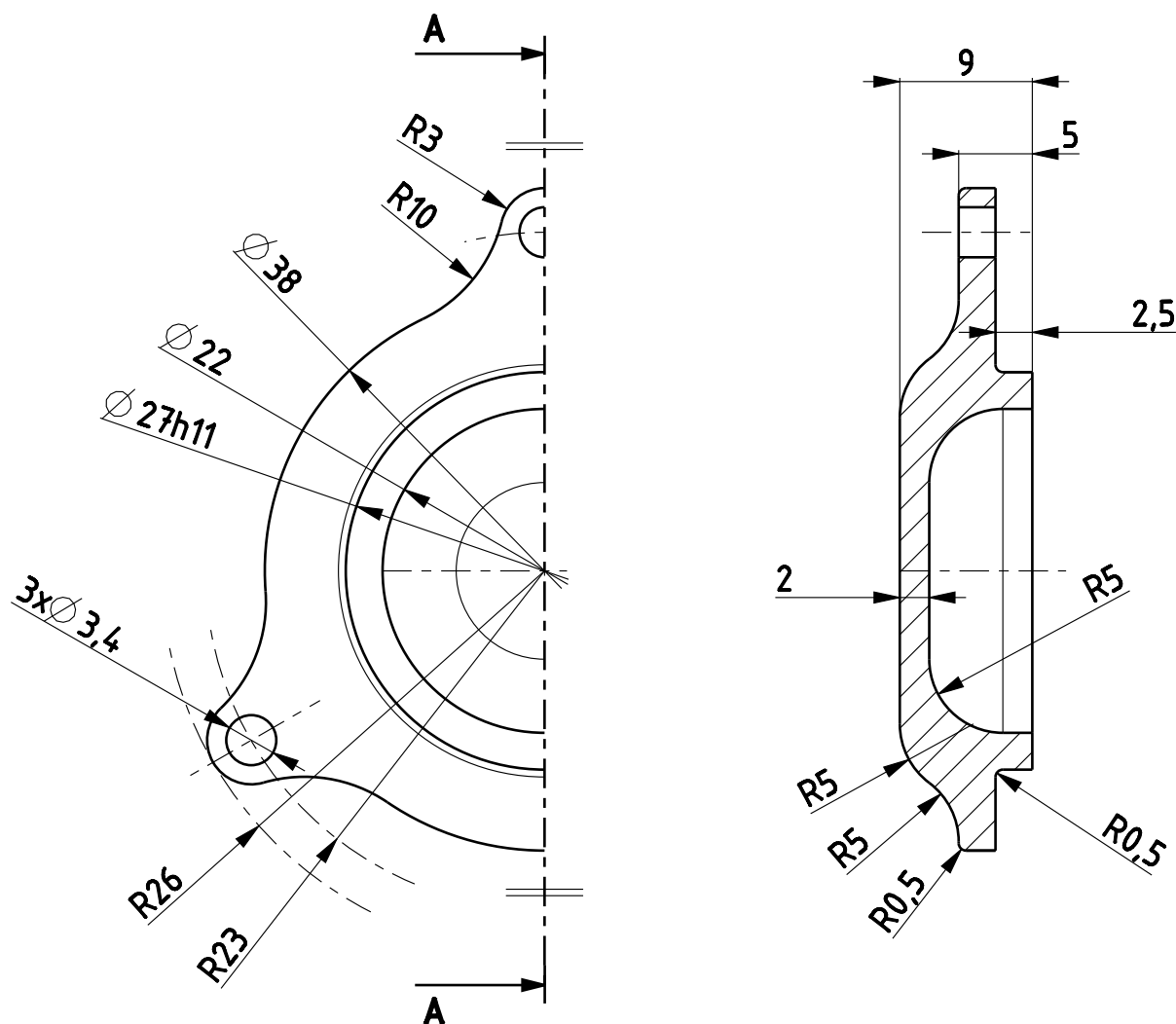
x = tokareno  
Ra 0,4




Napomena: sva nekotirana skošenja 0,5x45°

Broj naziva - code  0035167688			Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb  Studij strojarstva
		Projektirao		Milan Glumec		
		Razradio		Milan Glumec		
		Crtao		Milan Glumec		
		Pregledao		Dr.Sc. Zoran Domitran		
		Mentor		Dr.Sc. Dragan Željaj		
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:	
Ø 38h6	0,000	Modul za prijenos tereta			R. N. broj:	
	-0,016					
Ø 33,7	+0,250	Napomena: Tolerancije slobodnih izmjera prema ISO 2768-m			Snajer:	
	0,000				Konstrukcijski	
Ø 32P7	-0,017	Materijal: EN 5754		Masa: 19 g	DIPLOMSKI RAD	
	-0,042					
Ø 27H11	+0,130	Naziv: LEŽAJNA ČAŠA			Pozicija:	
	0,000				14	
		Mjerilo originala: 2:1			Format: A4	
					Listova: 1	
		Crtaj broj: IK-0201-014			List: 1	

brizgano  
Ra 12,5




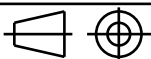
Broj naziva - code  <b>0035167688</b>		Datum	Ime i prezime	Potpis	 <b>FSB Zagreb</b> Studij strojarstva	
		Projektirao	Milan Glumac			
		Razradio	Milan Glumac			
		Crtao	Milan Glumac			
		Pregledao	Dr.Sc. Zoran Domitran			
ISO - tolerancije		Objekt:	Objekt broj:			
Ø 27h11	0,000 -0,130	<b>Modul za prijenos tereta</b>			R. N. broj:	
		Napomena: Tolerancije slobodnih izmjera prema ISO 2768-m			Smjer: Konstrukcijski	
		Materijal: ABS		Masa: 5 g	<b>DIPLOMSKI RAD</b>	
		Naziv: POKLOPAC B			Pozicija: 16	
		Mjerilo originala 2:1			Format: A4	
		Crtež broj: IK-0201-01			Listova: 1	
					List: 1	

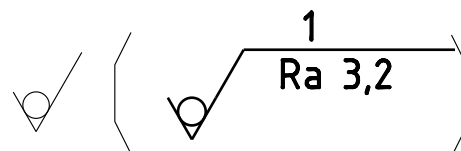


$$\left( \frac{x}{\triangle} \mid \frac{y}{\triangle} \right)$$

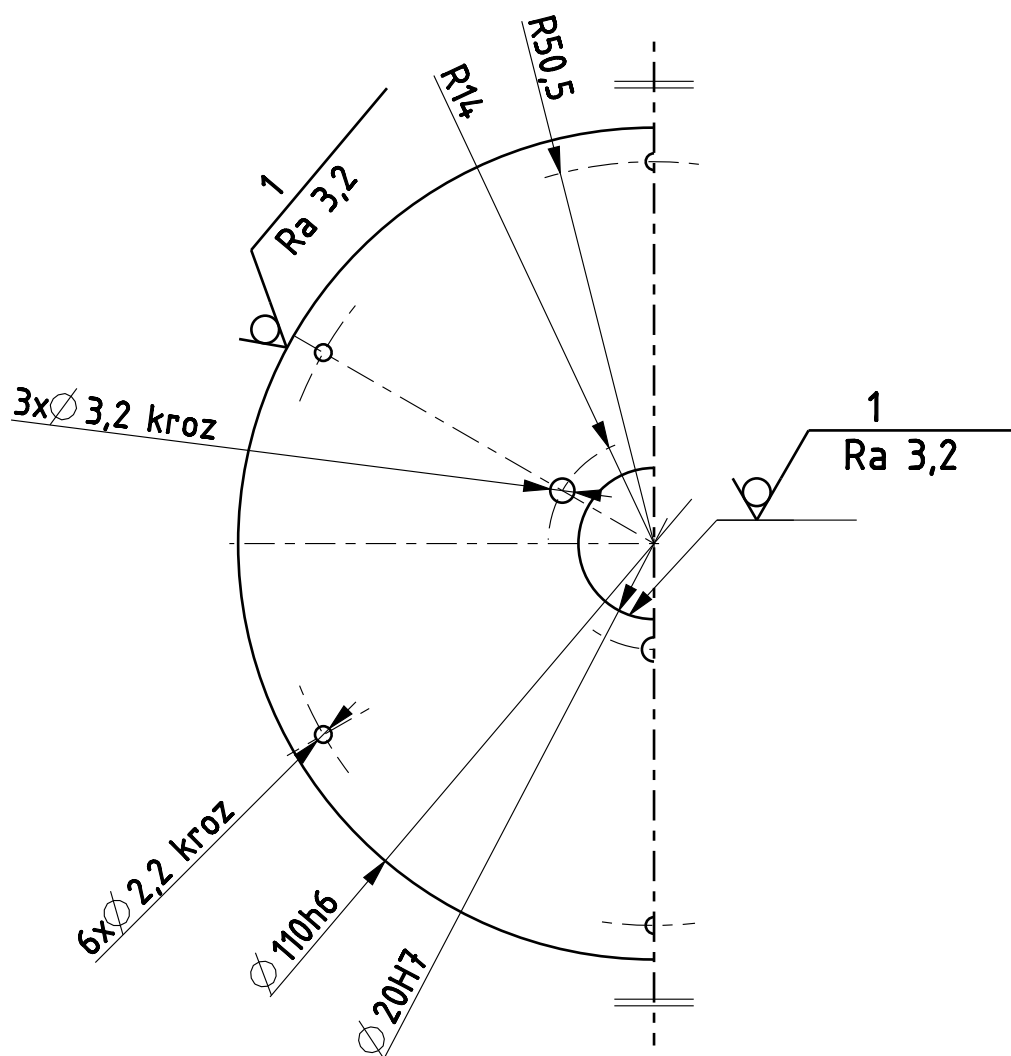
$\frac{y}{\triangle} = \frac{\text{glodano}}{\triangle}$  Ra 3,2




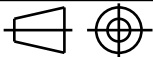
Broj naziva - code  0035167688		Datum		Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb  Studij strojarstva		
		Projektirao		Milan Glumac				
		Razradio		Milan Glumac				
		Crtao		Milan Glumac				
		Pregledao		Dr.Sc. Zoran Domitran				
Mentor				Dr.Sc. Dragan Žeželj				
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:			
Ø 20h6	0,000	Modul za prijenos tereta			R. N. broj:			
	-0,013							
Ø 12M6	-0,004							
	-0,015							
4P7	-0,008							
	-0,020							
Napomena:		Tolerancije slobodnih izmjera prema ISO 2768-m		Smjer: Konstrukcijski		<div>Kopija</div> <div></div>		
Materijal: EN 5754		Masa: 12 g		DIPLOMSKI RAD				
		Naziv: POGONSKA GLAVINA					Pozicija: 17	Format: A4
Mjerilo originala 2:1								Listova: 1
		Crtež broj: IK-0201-017					List: 1	



1 - rezano laserom



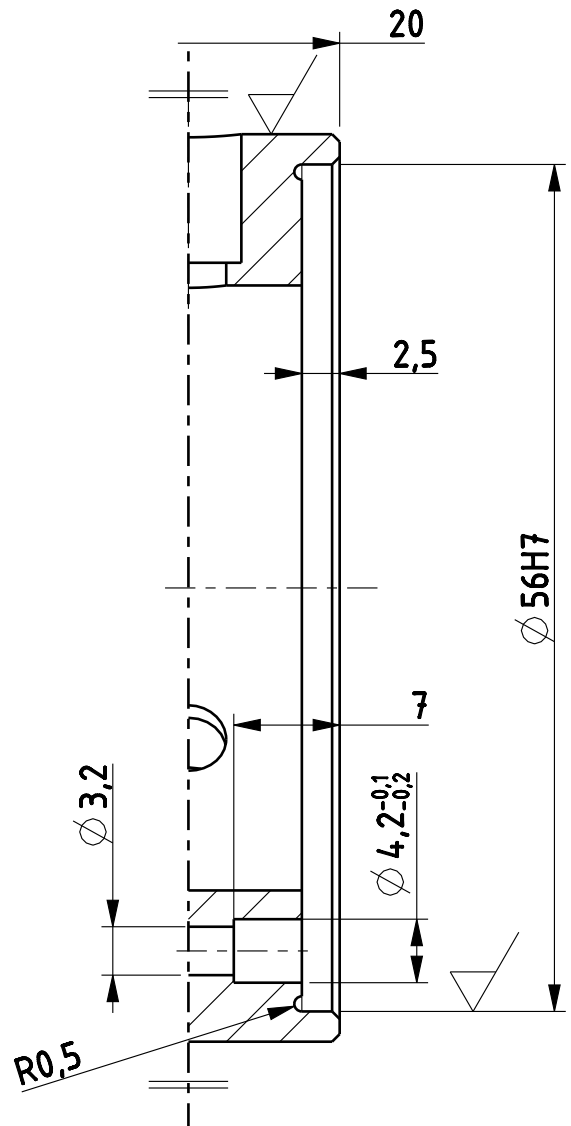
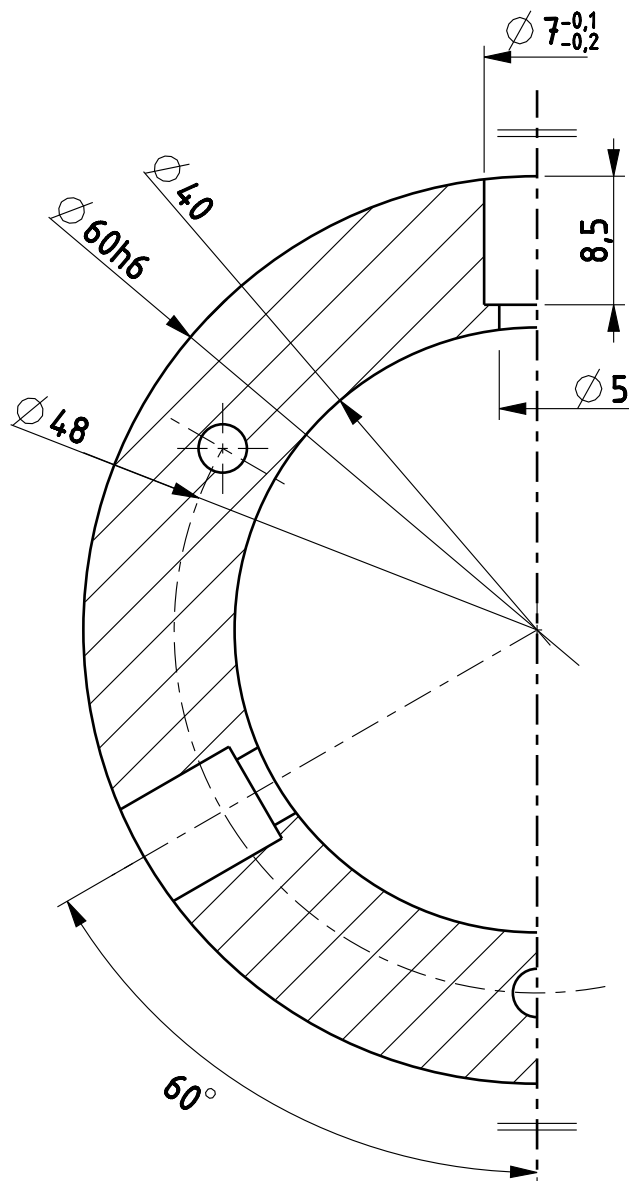
Napomena: Debljina ploče  $t=2,5$

Broj naziva - code  0035167688			Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb  Studij strojarstva
		Projektirao		Milan Glumac		
		Razradio		Milan Glumac		
		Crtao		Milan Glumac		
		Pregledao		Dr.Sc. Zoran Domitran		
Mentor			Dr.Sc. Dragan Žeželj			
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:	
Ø 110h6	0,000	Modul za prijenos tereta			R. N. broj:	
	-0,022					
Ø 20H7	+0,021	Napomena: Tolerancije slobodnih izmjera prema ISO 2768-m			Smjer: Konstrukcijski	
	0,000					
		Materijal: CFRP		Masa: 37 g	DIPLOMSKI RAD	
					Naziv: POGONSKA PLOČA	
		Mjerilo originala 1:1			Pozicija: 18	
					Format: A4	
		Crtež broj: IK-0201-018			Listova: 1	
					List: 1	




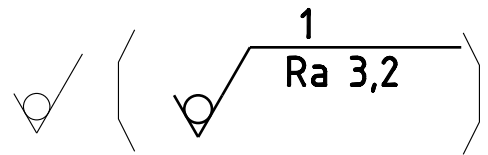
brizgano  
Ra 12,5

tokareno  
Ra 0,8

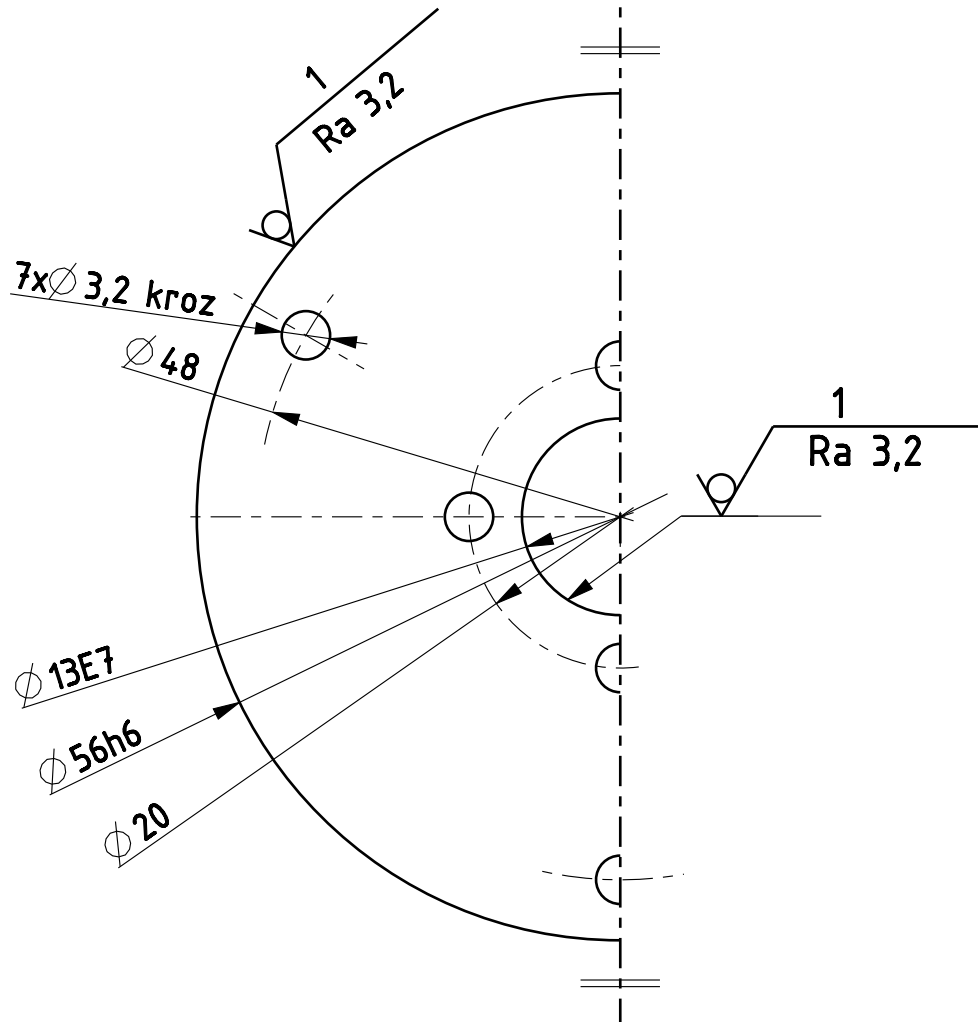


Napomena: sva nekotirana skošenja = 0,5x45°


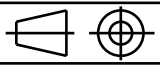
Broj naziva - code  0035167688			Datum	Ime i prezime	Potpis	<div> FSB Zagreb</div> Studij strojarstva		
		Projektirao		Milan Glumac				
		Razradio		Milan Glumac				
		Crtao		Milan Glumac				
		Pregledao		Dr.Sc. Zoran Domitran				
		Mentor		Dr.Sc. Dragan Žeželj				
ISO - tolerancije		Objekt:				Objekt broj:		
Ø 60h6	0,000	Modul za prijenos tereta				R. N. broj:		
	-0,019							
Ø 56H7	+0,030	Napomena: Tolerancije slobodnih izmjera prema ISO 2768-m		Smjer: Konstrukcijski		Kopija		
	0,000							
Ø 7	-0,100	Materijal: ABS		Masa: 21 g	DIPLOMSKI RAD			
	-0,200							
Ø 4,2	-0,100	Naziv: SPOJNI PRSTEN B				Pozicija: 1	Format: A4	
	-0,200						Listova: 1	
		Mjerilo originala: 2:1				Crtež broj: IK-3020-001		List: 1

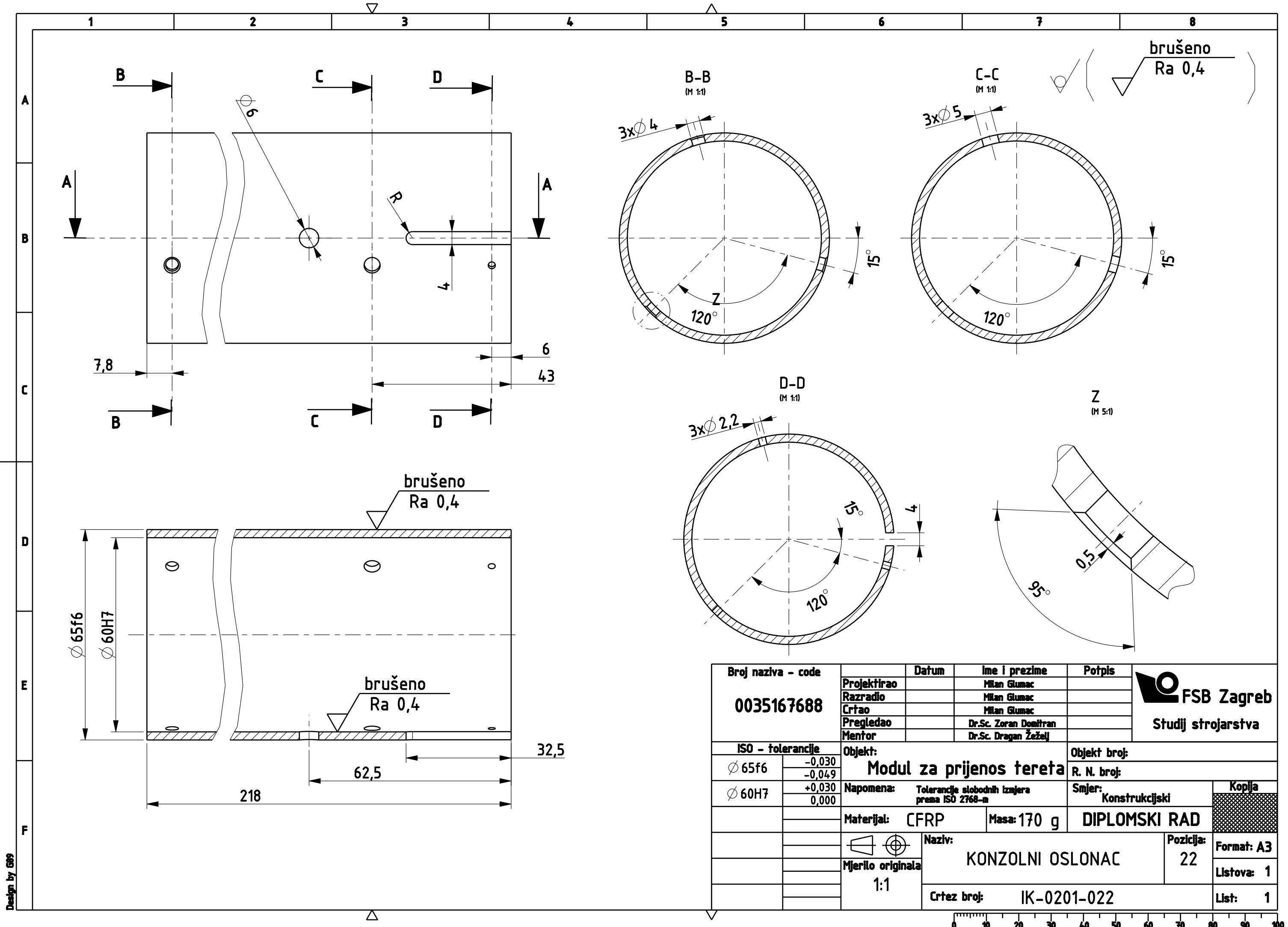


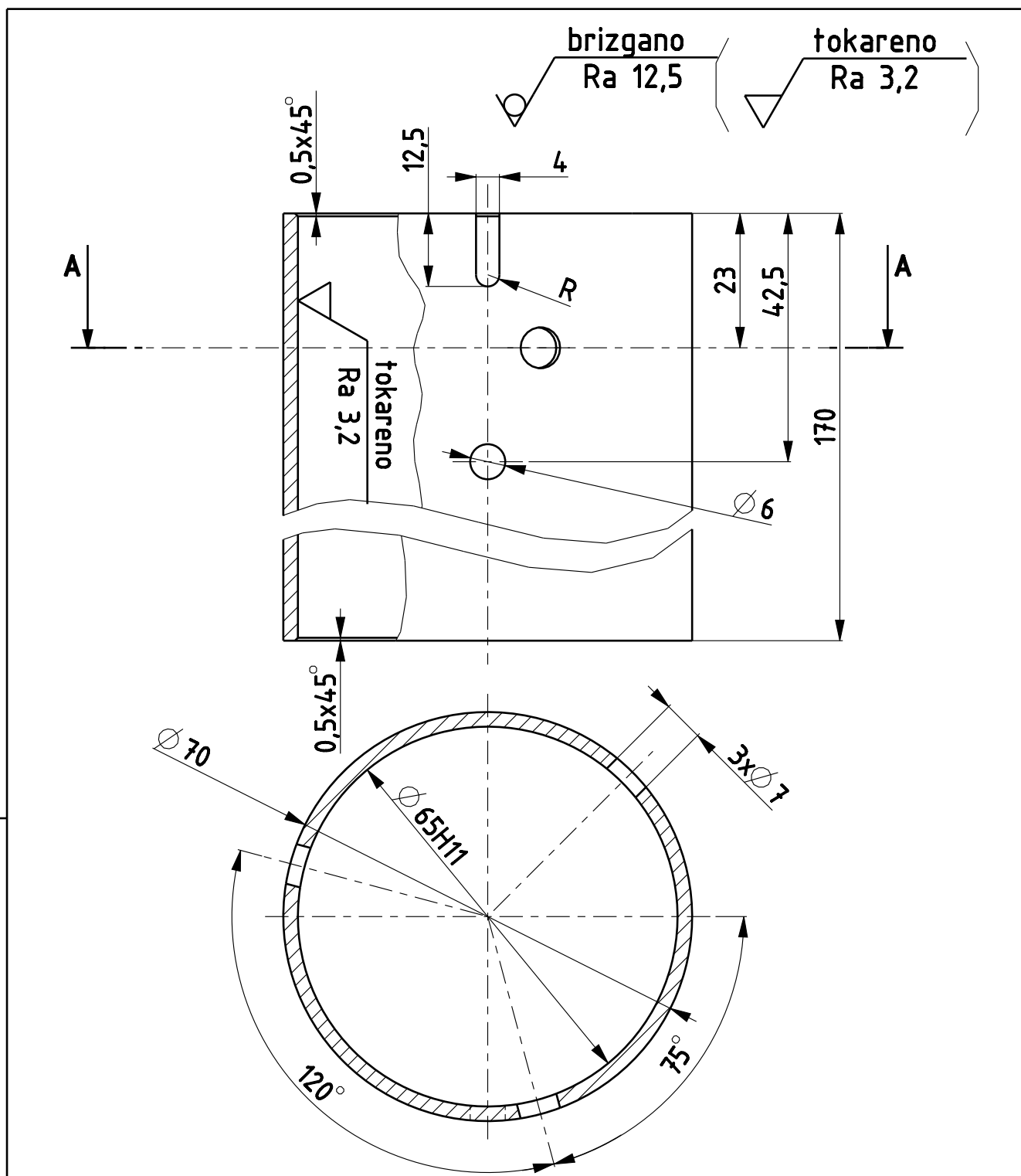
1 - rezano laserom


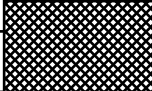
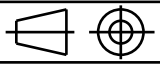


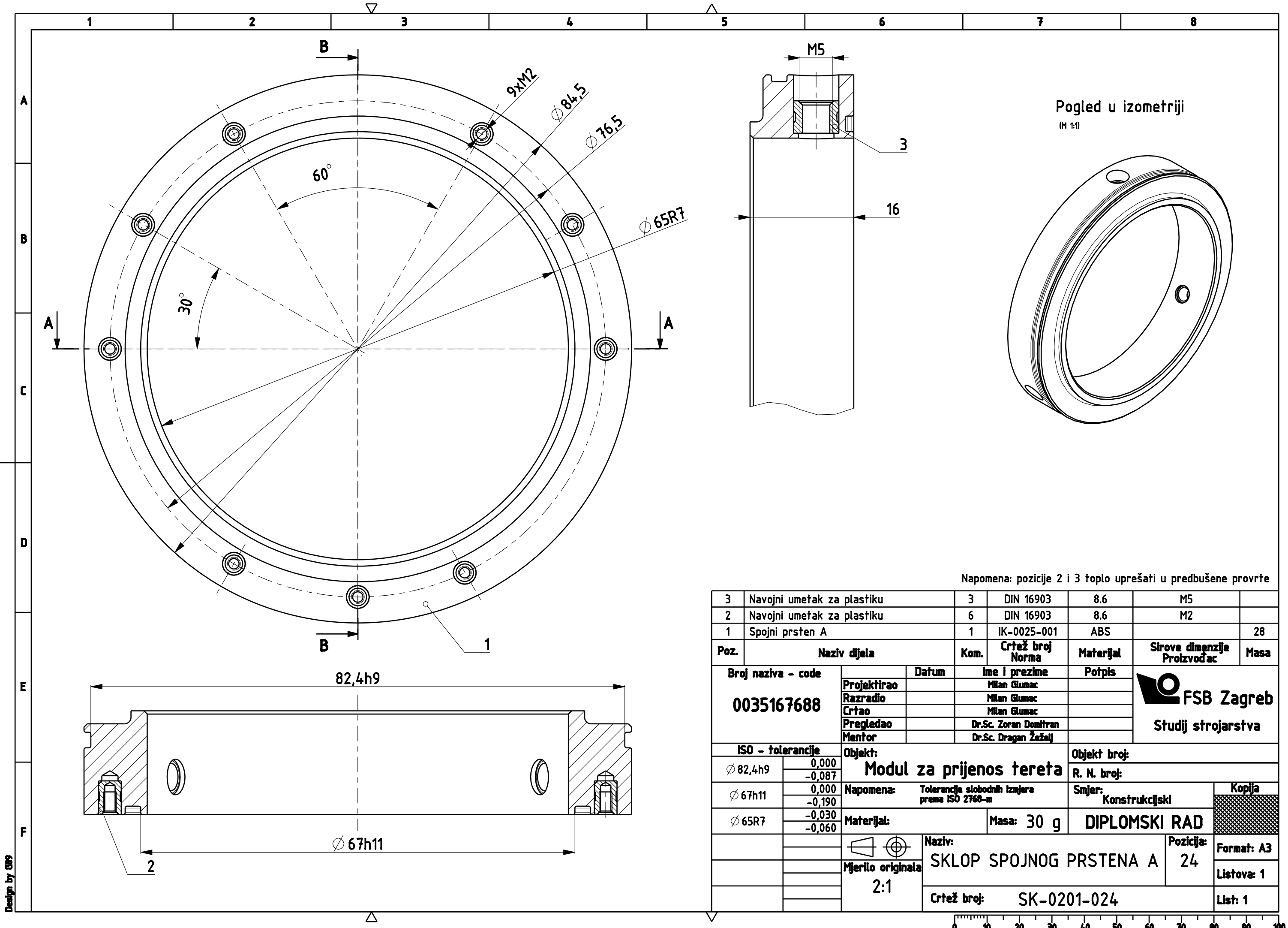
Napomena: debljina ploče  $t=2,5$

<b>Broj naziva - code</b>  <b>0035167688</b>		<b>Datum</b>	<b>Ime i prezime</b>	<b>Potpis</b>	 <b>FSB Zagreb</b> <b>Studij strojarstva</b>
		<b>Projektirao</b>	Milan Glumac		
		<b>Razradio</b>	Milan Glumac		
		<b>Crtao</b>	Milan Glumac		
		<b>Pregledao</b>	Dr.Sc. Zoran Domitran		
		<b>Mentor</b>	Dr.Sc. Dragan Žeželj		
<b>ISO - tolerancije</b>		<b>Objekt:</b>			<b>Objekt broj:</b>
$\varnothing 56h6$	0,000 -0,019	<b>Modul za prijenos tereta</b>			<b>R. N. broj:</b>
$\varnothing 13E7$	+0,050 +0,032				
		<b>Napomena:</b>	Tolerancije slobodnih izmjera prema ISO 2768-m		<b>Smjer:</b>
		<b>Materijal:</b> CFRP	<b>Masa:</b> 9 g	<b>DIPLOMSKI RAD</b>	<b>Kopija</b>
			<b>Naziv:</b>		<b>Pozicija:</b>
		<b>Mjerilo originala</b>	PLOČA MOTORA		21
		2:1	<b>Crtež broj:</b>		<b>Format: A4</b>
			IK-0201-021		<b>Listova: 1</b>
					<b>List: 1</b>

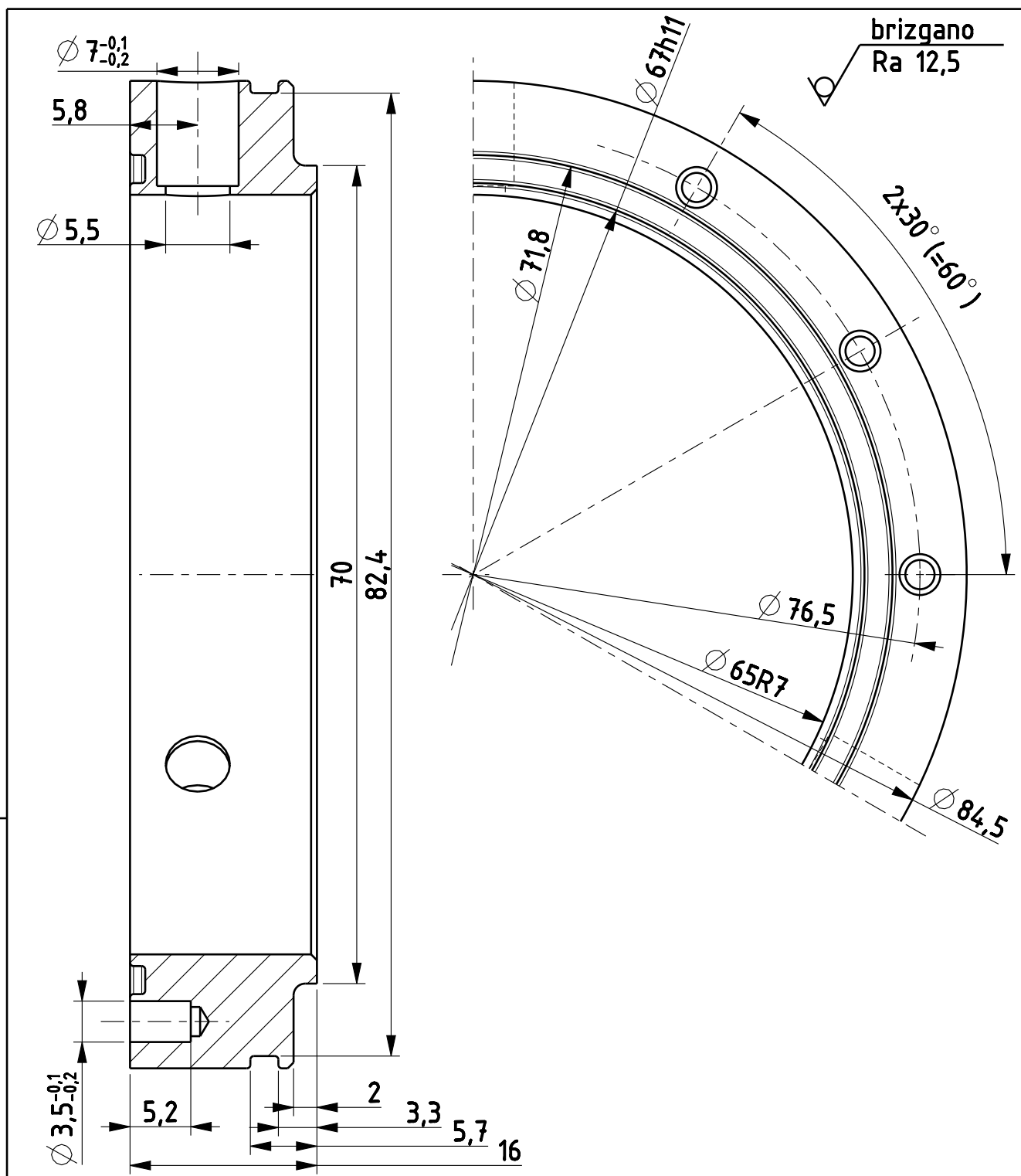





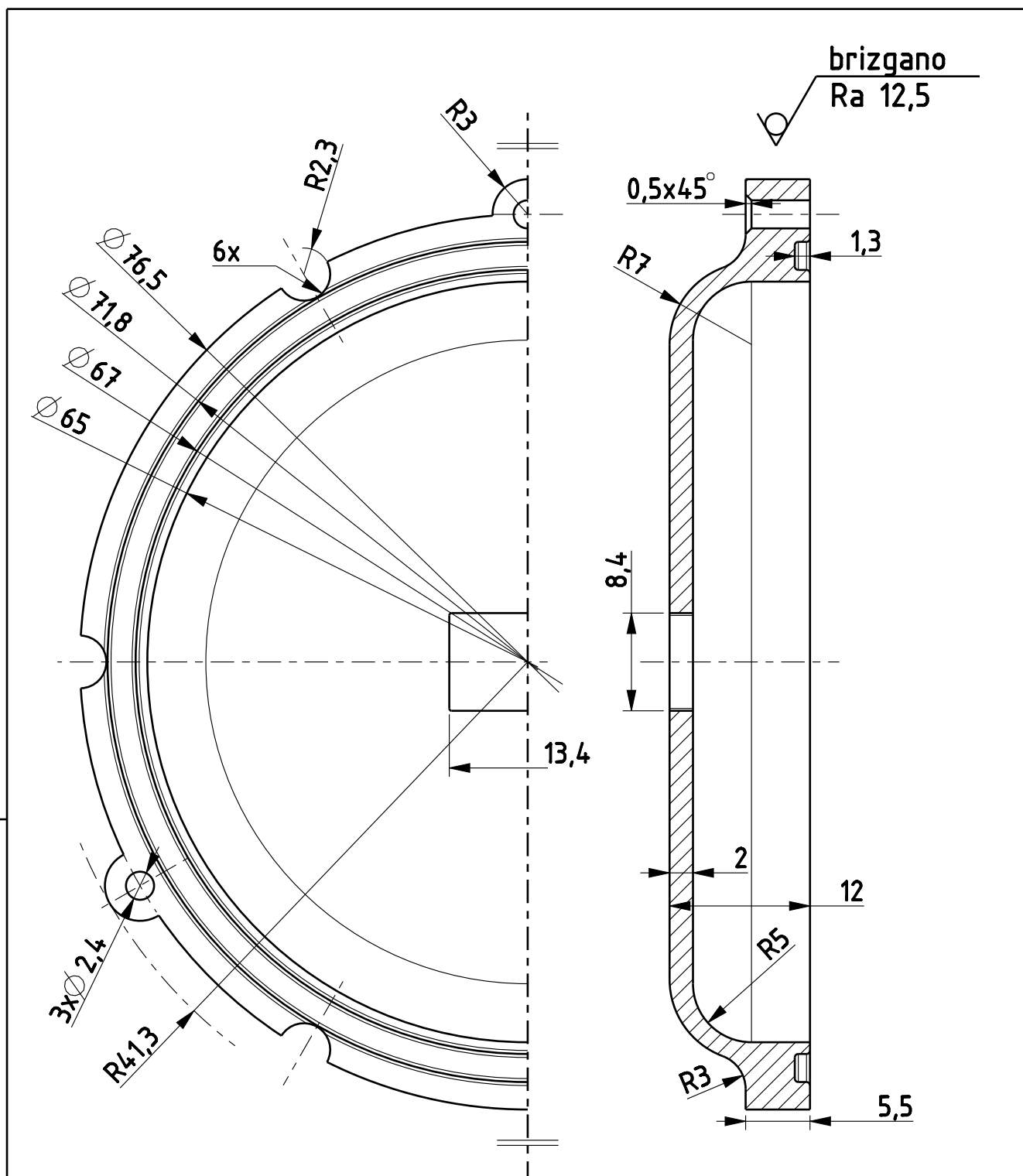
<b>Broj naziva - code</b>  <b>0035167688</b>		<b>Datum</b>		<b>Ime i prezime</b>		<b>Potpis</b>		 <b>FSB Zagreb</b> <b>Studij strojarstva</b>	
		Projektirao		Milan Glumac					
		Razradio		Milan Glumac					
		Crtao		Milan Glumac					
		Pregledao		Dr.Sc. Zoran Domitran					
Mentor		Dr.Sc. Dragan Žeželj							
<b>ISO - tolerancije</b>		<b>Objekt:</b>				<b>Objekt broj:</b>			
$\phi 65H11$ $+0,190$ $0,000$		<b>Modul za prijenos tereta</b>				<b>R. N. broj:</b>			
		<b>Napomena:</b> Tolerancije slobodnih izmjera prema ISO 2768-m				<b>Smjer:</b> Konstrukcijski		<b>Kopija</b>	
		<b>Materijal:</b> ABS		<b>Masa:</b> 95 g		<b>DIPLOMSKI RAD</b>			
		 <b>Naziv:</b> <b>ODSTOJNIK LEŽAJA</b>		<b>Pozicija:</b> <b>23</b>		<b>Format:</b> A4			
<b>Mjerilo originala</b>						<b>Listova:</b> 1			
<b>1:1</b>						<b>List:</b> 1			
		<b>Crtež broj:</b> IK-0201-023							


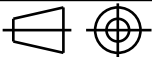


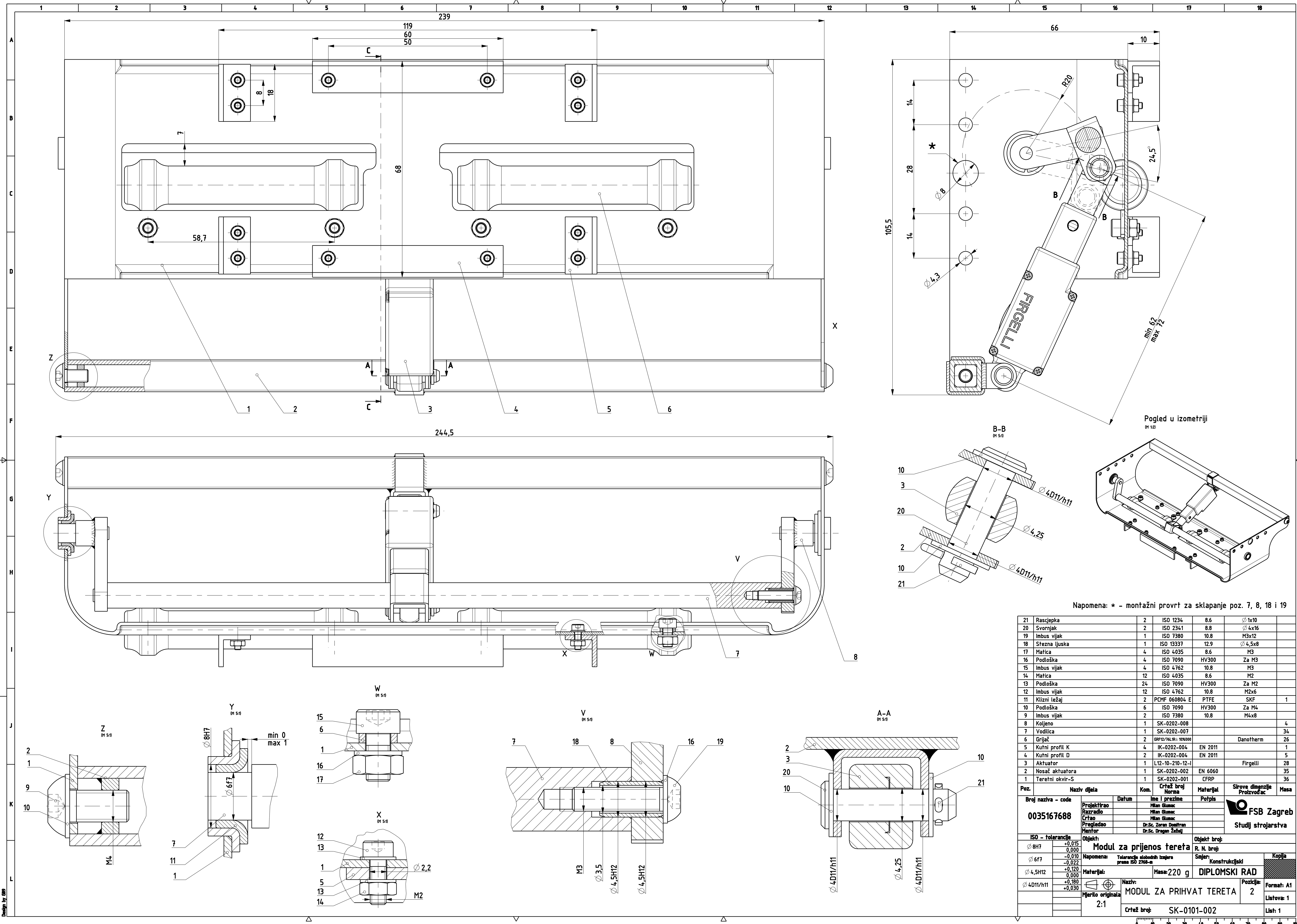




Broj naziva - code  0035167688		Datum		Ime i prezime		Potpis		<div>FSB Zagreb</div> <div>Studij strojarstva</div>			
		Projektirao		Milan Glumac							
		Razradio		Milan Glumac							
		Crtao		Milan Glumac							
		Pregledao		Dr.Sc. Zoran Domitran							
Mentor		Dr.Sc. Dragan Žeželj									
ISO - tolerancije		Objekt:				Objekt broj:					
Ø 82,4h9	0,000	Modul za prijenos tereta				R. N. broj:					
	-0,087										
Ø 67h11	0,000	Napomena: Tolerancije slobodnih izmjera prema ISO 2768-m				Smjer: Konstrukcijski		Kopija			
	-0,190										
Ø 65R7	-0,030	Materijal: ABS		Masa: 28 g	DIPLOMSKI RAD						
	-0,060										
Ø 7	-0,100	Naziv: SPOJNI PRSTEN A				Pozicija: 1		Format: A4			
	-0,200										
Ø 3,5	-0,100	Mjerilo originala 2:1				Crtež broj: IK-3024-001				Listova: 1	
	-0,200										
										List: 1	

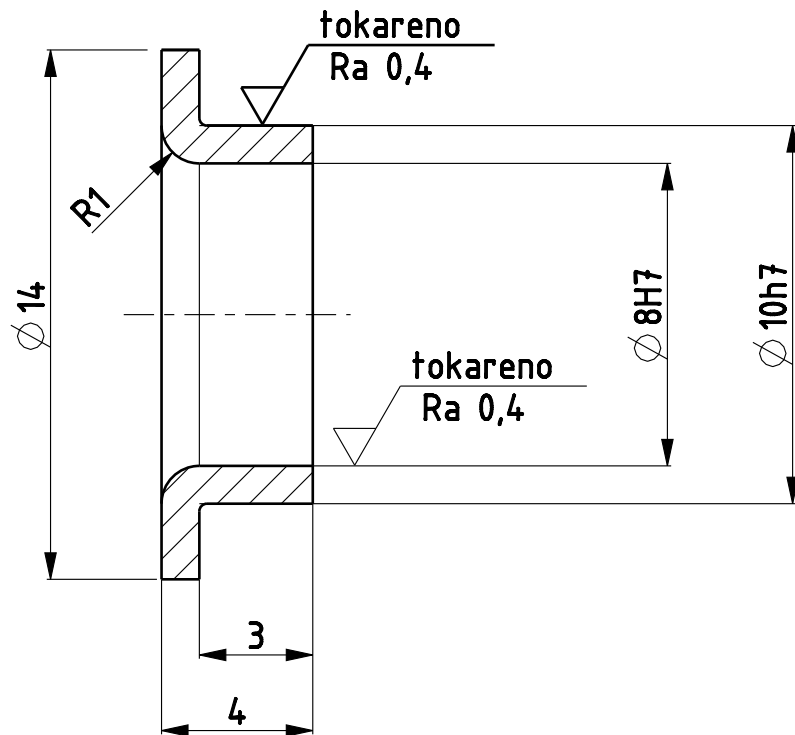
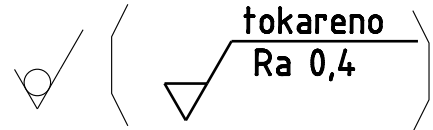



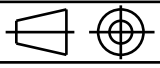
Broj naziva - code  0035167688		Datum	Ime i prezime	Potpis	<div>FSB Zagreb</div> <div>Studij strojarstva</div>	
		Projektirao	Milan Glumac			
		Razradio	Milan Glumac			
		Crtao	Milan Glumac			
		Pregledao	Dr.Sc. Zoran Domitran			
Mentor			Dr.Sc. Dragan Žeželj			
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:	
		Modul za prijenos tereta			R. N. broj:	
		Napomena: Tolerancije slobodnih izmjera prema ISO 2768-m			Smjer: Konstrukcijski	Kopija
		Materijal: ABS			Masa: 11 g	<div>DIPLOMSKI RAD</div> <div></div>
		<div><div></div><div>Naziv:</div></div>			Pozicija:	
		Mjerilo originala			25	
		2:1			Format: A4	
		Crtež broj:			Listova: 1	
		IK-0201-025			List: 1	

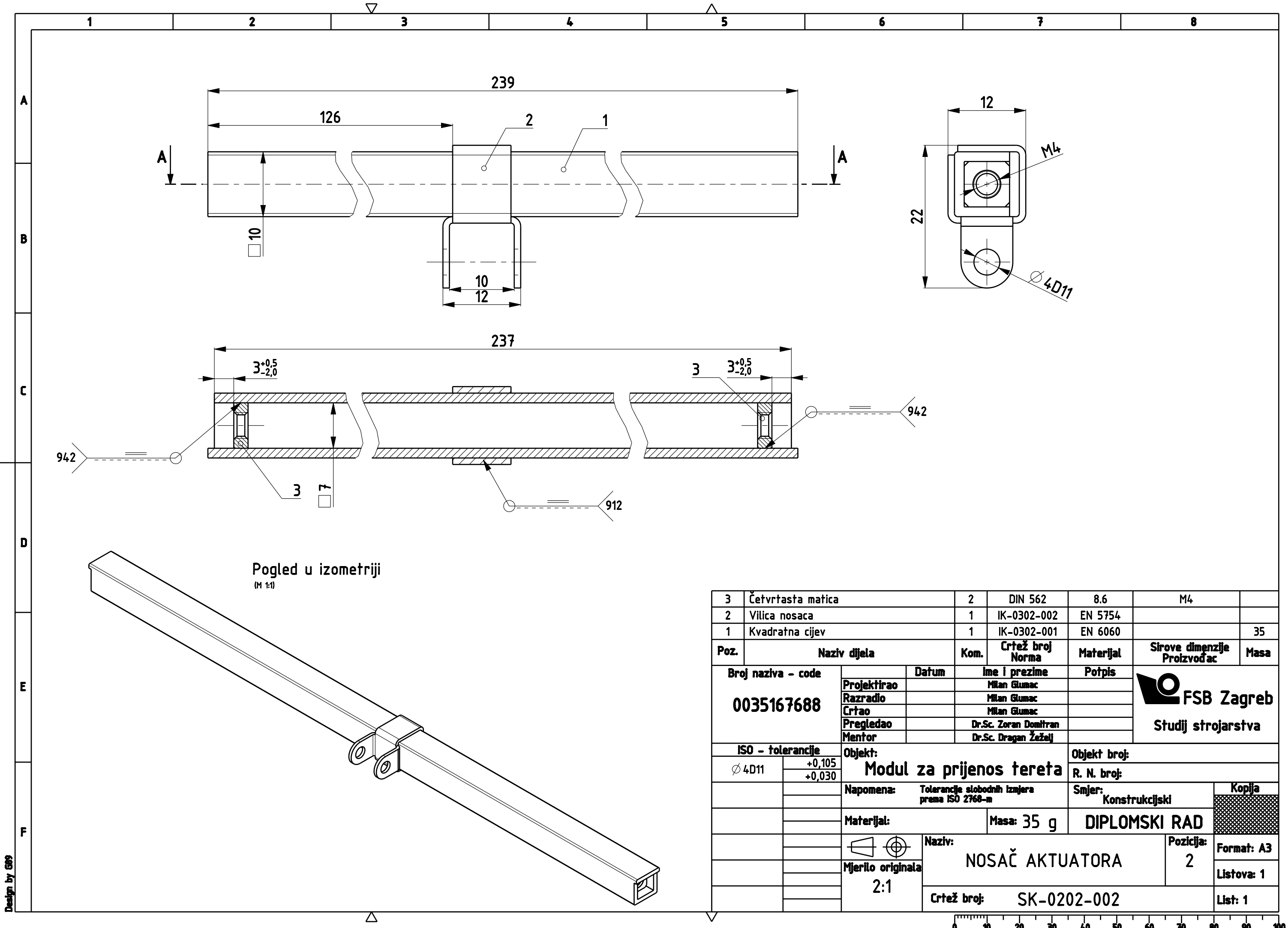






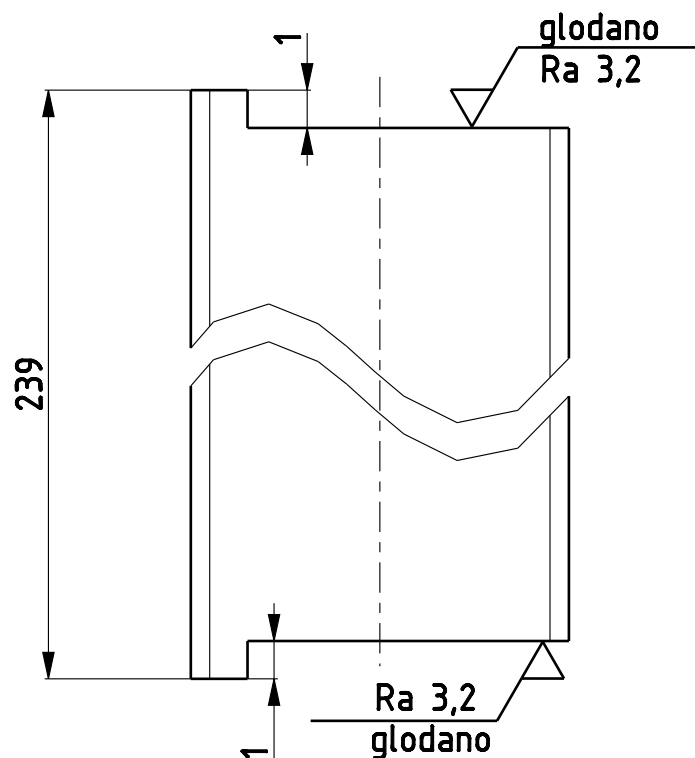
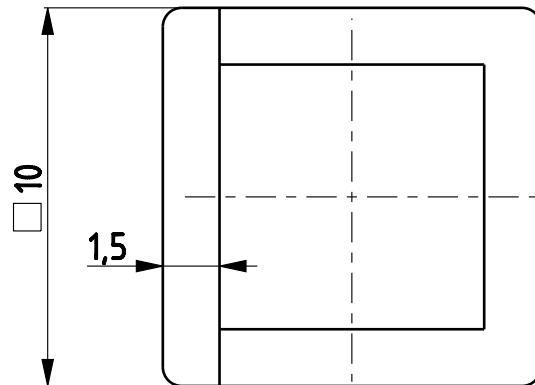



<b>Broj naziva - code</b>  <b>0035167688</b>		<b>Datum</b>	<b>Ime i prezime</b>	<b>Potpis</b>	 <b>FSB Zagreb</b> <b>Studij strojarstva</b>
		<b>Projektirao</b>	Milan Glumac		
		<b>Razradio</b>	Milan Glumac		
		<b>Crtao</b>	Milan Glumac		
		<b>Pregledao</b>	Dr.Sc. Zoran Domitran		
		<b>Mentor</b>	Dr.Sc. Dragan Žeželj		
<b>ISO - tolerancije</b>		<b>Objekt:</b>		<b>Objekt broj:</b>	
Ø 10h7	0,000 -0,015	<b>Modul za prijenos tereta</b>		<b>R. N. broj:</b>	
Ø 8H7	+0,015 0,000				
		<b>Napomena:</b> Tolerancije slobodnih izmjera prema ISO 2768-m		<b>Smjer:</b> Konstrukcijski	<b>Kopija</b>
		<b>Materijal:</b> EN 2011	<b>Masa:</b> 1 g	<b>DIPLOMSKI RAD</b>	
		 <b>Mjerilo originala</b> <b>5:1</b>	<b>Naziv:</b> <b>LEŽAJNA ČAHURA</b>		<b>Pozicija:</b> 2
					<b>Format:</b> A4
			<b>Crtež broj:</b> IK-0301-002		
					<b>List:</b> 1



3	Četvrtasta matica		2	DIN 562	8.6	M4	
2	Vilica nosaca		1	IK-0302-002	EN 5754		
1	Kvadratna cijev		1	IK-0302-001	EN 6060		35
Poz.	Naziv dijela		Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa
Broj naziva - code  0035167688			Datum	Ime i prezime	Potpis	<div>FSB Zagreb</div> <div>Studij strojarstva</div>	
		Projektirao		Milan Glumac			
		Razradio		Milan Glumac			
		Crtao		Milan Glumac			
		Pregledao		Dr.Sc. Zoran Domitran			
		Mentor		Dr.Sc. Dragan Žeželj			
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:		
Ø 4D11	+0,105 +0,030	Modul za prijenos tereta			R. N. broj:		
		Napomena: Tolerancije slobodnih izmjera prema ISO 2768-m			Smjer: Konstrukcijski		Kopija
		Materijal:			Masa: 35 g	DIPLOMSKI RAD	
		<div></div> Mjerilo originala 2:1			Naziv:		Pozicija:
					NOSAČ AKTUATORA		2
		Crtež broj: SK-0202-002				Format: A3	
						Listova: 1	
						List: 1	

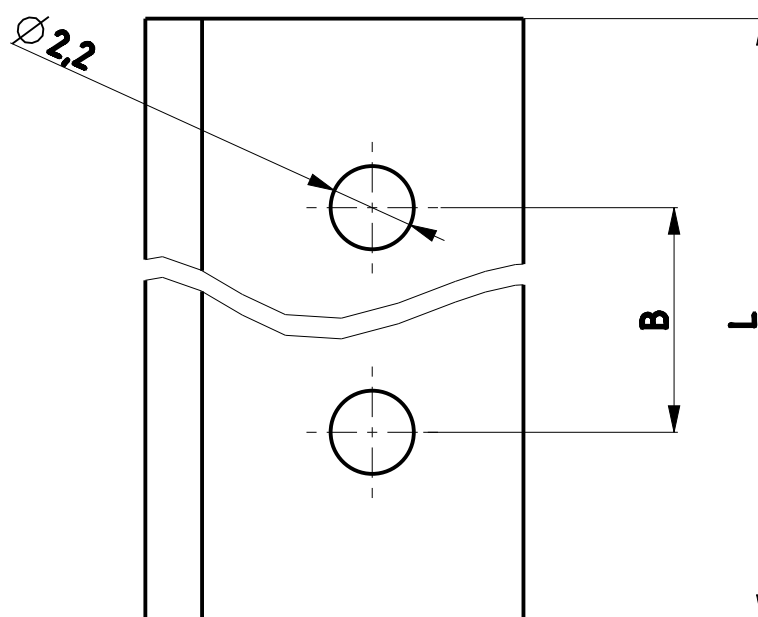
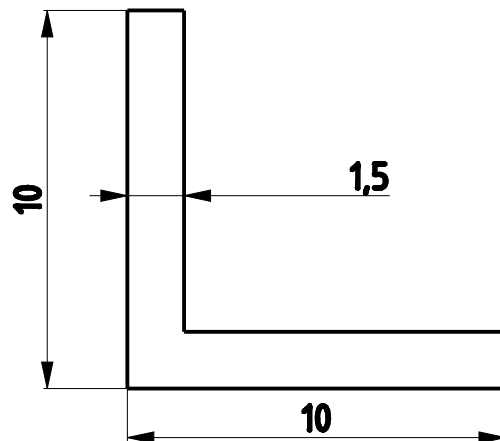
glodano  
Ra 3,2




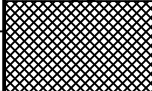
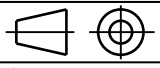
Broj naziva - code  <b>0035167688</b>		Datum	Ime i prezime	Potpis	 <b>FSB Zagreb</b> Studij strojarstva	
		Projektirao	Milan Glumac			
		Razradio	Milan Glumac			
		Crtao	Milan Glumac			
		Pregledao	Dr.Sc. Zoran Domitran			
ISO - tolerancije		Mentor	Dr.Sc. Dragan Žeželj			
		Objekt:			Objekt broj:	
		<b>Modul za prijenos tereta</b>			R. N. broj:	
		Napomena: Tolerancije slobodnih izmjera prema ISO 2768-m			Smjer: Konstrukcijski	
		Materijal: EN 6060		Masa: 35 g	<b>DIPLOMSKI RAD</b>	
		Naziv:			Pozicija:	
		KVADRATNA CIJEV			1	
		Mjerilo originala 5:1			Format: A4	
		Crtež broj: IK-0302-001			Listova: 1	
					List: 1	

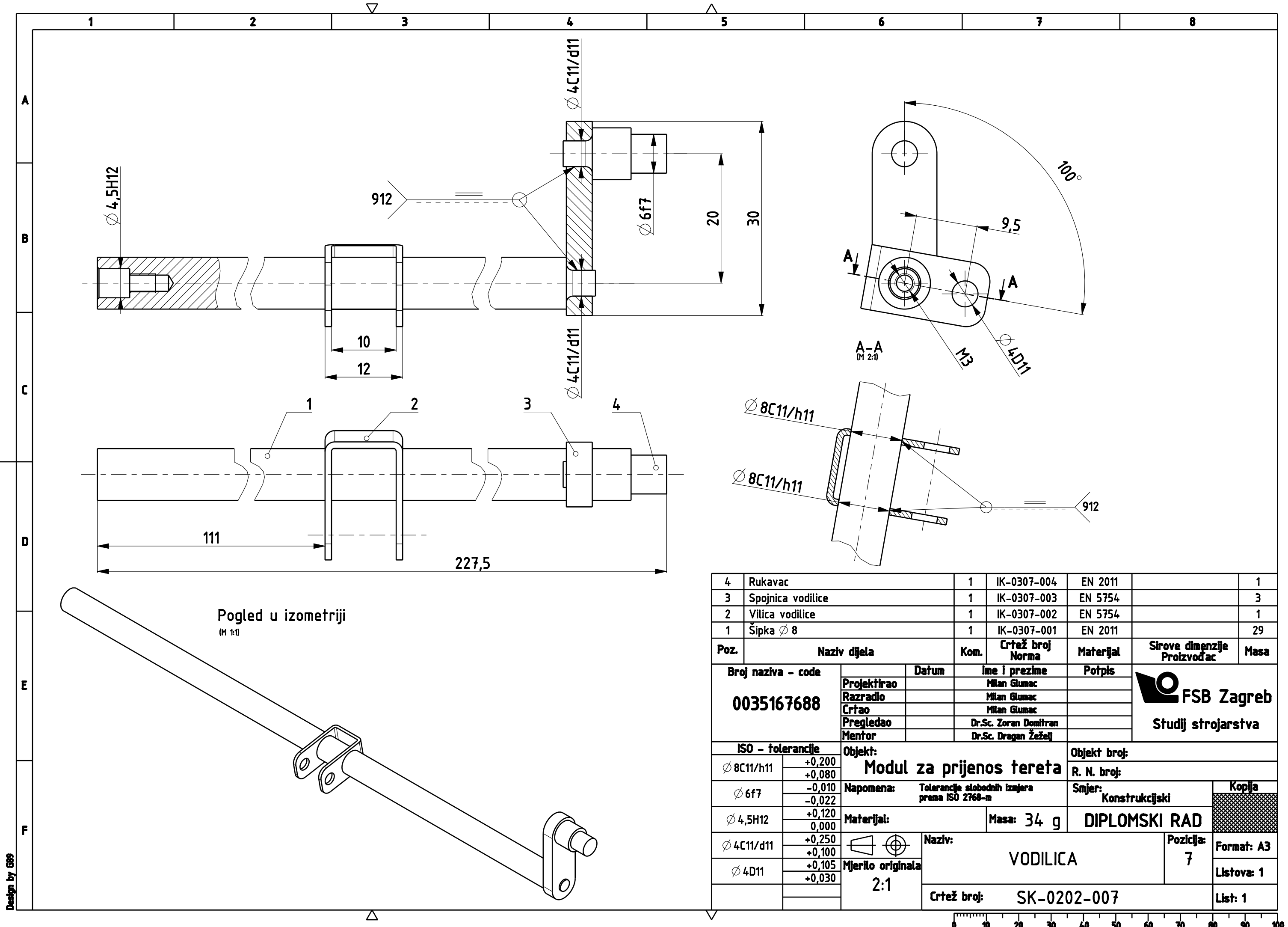


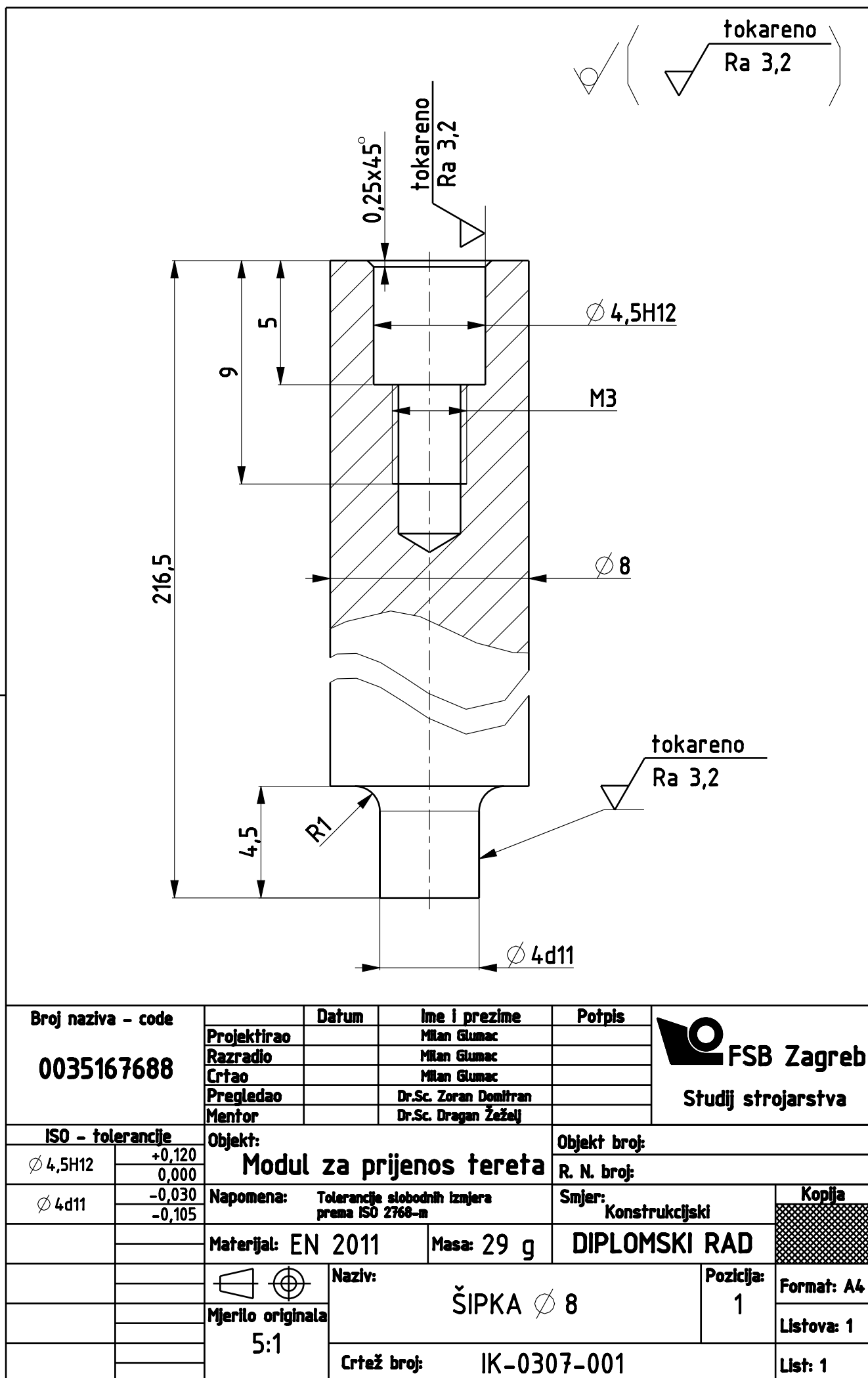




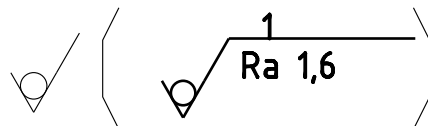
Poz.	Naziv dijela	L	B ± 0,1	Masa
3	Kutni profil K	18	8	1 g
4	Kutni profil D	60	50	5 g

<b>Broj naziva - code</b>  <b>0035167688</b>		Datum		Ime i prezime		Potpis		 <b>FSB Zagreb</b> Studij strojarstva
		Projektirao		Milan Glumac				
		Razradio		Milan Glumac				
		Crtao		Milan Glumac				
Pregledao		Dr.Sc. Zoran Domitran						
Mentor		Dr.Sc. Dragan Željaj						
ISO - tolerancije		Objekt:				Objekt broj:		
		Modul za prijenos tereta				R. N. broj:		
		Napomena: Tolerancije slobodnih izmjera prema ISO 2768-m				Sajer: Konstrukcijski		Kopija
		Materijal: EN 2011		Masa:		DIPLOMSKI RAD		
				Naziv:		Pozicija:		
		Mjerilo originala		KUTNI PROFIL K/D		4/5		
		5:1		Crtaj broj:		IK-0202-004		
								Format: A4
								Listova: 1
								List: 1

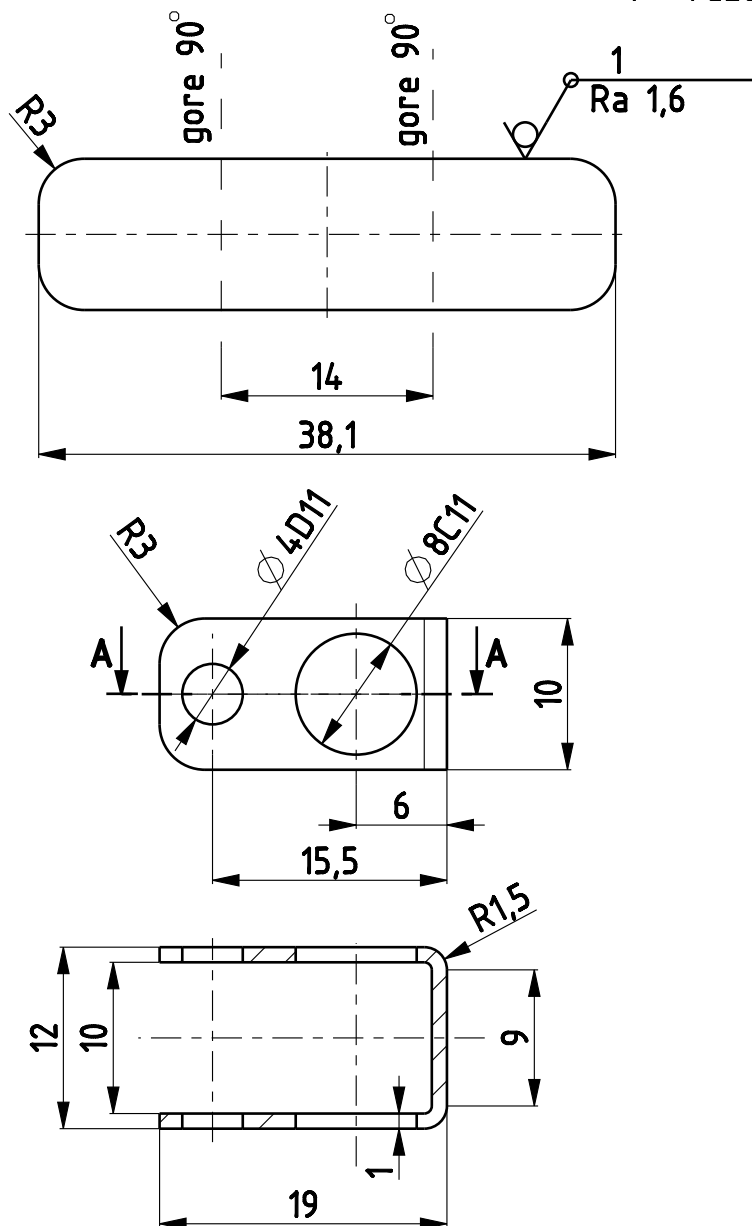





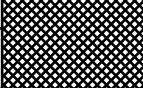

Razvijeni oblik  
(M 2:1)



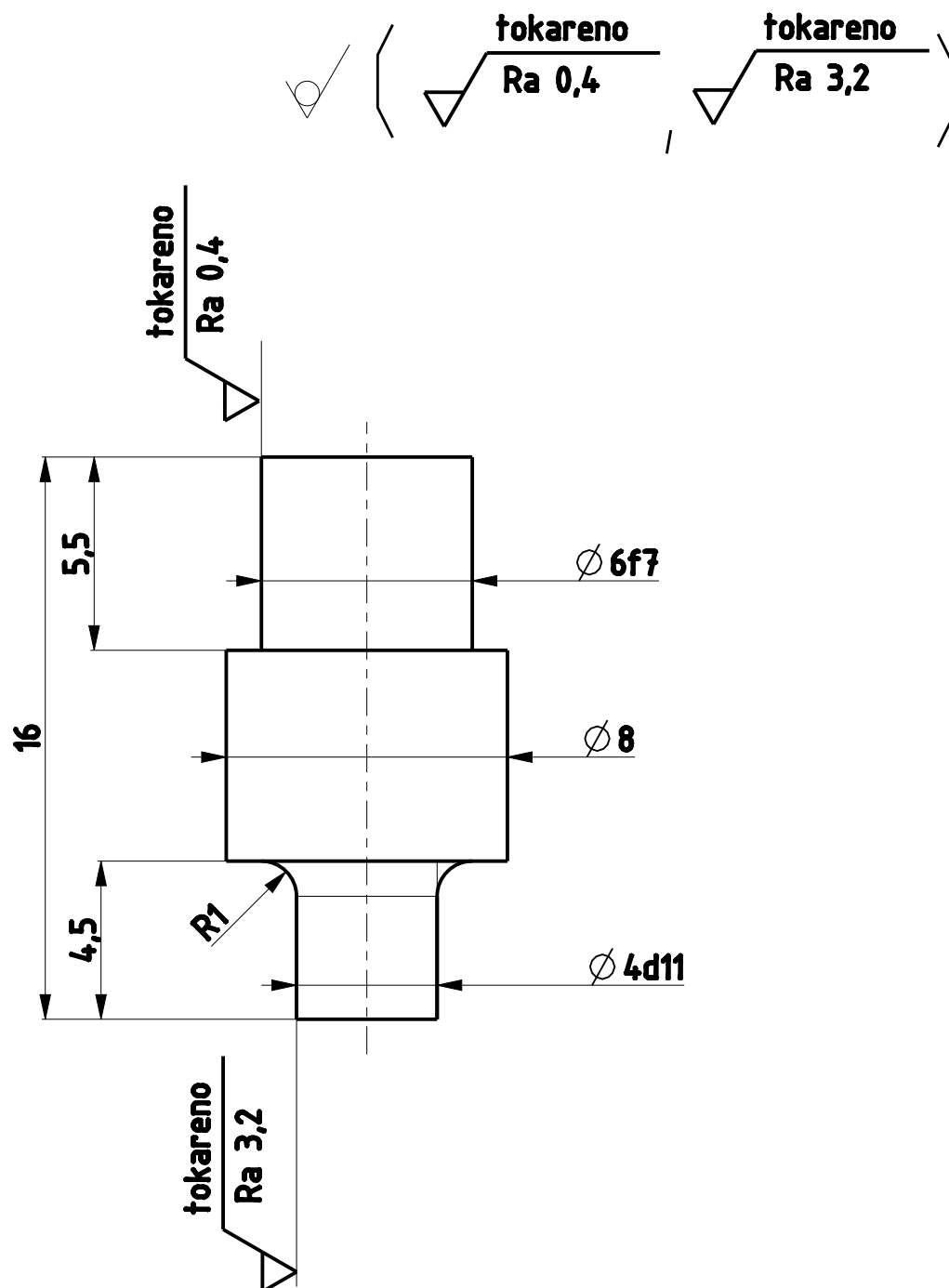
1 - rezano laserom


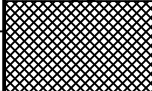
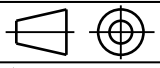


Napomena: provrte  $\varnothing 4$  i  $\varnothing 8$  bušiti nakon savijanja

<div>Broj naziva - code</div> <div>0035167688</div>		Datum	Ime i prezime	Potpis	<div> FSB Zagreb</div> <div>Studij strojarstva</div>	
		Projektirao	Milan Glumac			
		Razradio	Milan Glumac			
		Crtao	Milan Glumac			
		Pregledao	Dr.Sc. Zoran Domitran			
Mentor			Dr.Sc. Dragan Žeželj			
ISO - tolerancije		<div>Objekt:</div> <div>Modul za prijenos tereta</div>			<div>Objekt broj:</div>	
<div>Ø 8C11</div> <div>+0.110</div> <div>+0.080</div>	<div>R. N. broj:</div>					
<div>Ø 4D11</div> <div>+0.105</div> <div>+0.030</div>	<div>Napomena:</div> <div>Tolerancije slobodnih izmjera prema ISO 2768-m</div>			<div>Smjer:</div> <div>Konstrukcijski</div>	<div>Kopija</div> <div></div>	
	<div>Materijal:</div> <div>EN 5754</div>	<div>Masa:</div> <div>1 g</div>	<div>DIPLOMSKI RAD</div>			
	<div></div> <div>Mjerilo originala</div> <div>2:1</div>	<div>Naziv:</div> <div>VILICA VODILICE</div>			<div>Pozicija:</div> <div>2</div>	<div>Format: A4</div>
		<div>Crtež broj:</div> <div>IK-0307-002</div>			<div>Listova: 1</div>	
					<div>List: 1</div>	





<b>Broj naziva - code</b>  <b>0035167688</b>		<b>Datum</b>		<b>Ime i prezime</b>		<b>Potpis</b>		 <b>FSB Zagreb</b> <b>Studij strojarstva</b>
		Projektirao		Milan Glumac				
		Razradio		Milan Glumac				
		Crtao		Milan Glumac				
		Pregledao		Dr.Sc. Zoran Domitran				
Mentor		Dr.Sc. Dragan Željaj						
<b>ISO - tolerancije</b>		<b>Objekt:</b>				<b>Objekt broj:</b>		
$\varnothing 6f7$	-0,010	<b>Modul za prijenos tereta</b>				<b>R. N. broj:</b>		
	-0,022							
$\varnothing 4d11$	-0,030	<b>Napomena:</b> Tolerancije slobodnih izmjera prema ISO 2768-m				<b>Sajer:</b> Konstrukcijski		<b>Kopija</b>
	-0,105							
		<b>Materijal:</b> EN 2011		<b>Masa:</b> 1 g		<b>DIPLOMSKI RAD</b>		
		 <b>Mjerilo originala</b> <b>5:1</b>		<b>Naziv:</b> <b>RUKAVAC</b>		<b>Pozicija:</b> <b>4/1</b>		
		<b>Crtaj broj:</b> IK-0307-004				<b>List: 1</b>		

